

Jarkko Johansson

Teräsrakenteiden kustannusvertailu

palosuojausmenetelmien

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

25.11.2013

Tekijä(t) Otsikko	Jarkko Johansson Teräsrakenteiden palosuojausmenetelmien kustannusvertailu
Sivumäärä Aika	39 sivua + 4 liitettä 25.11.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori rakennustekniikka Aarne Seppänen Osastopäällikkö Pekka Toivanen
<p>Insinöörityö tehtiin Pöyry Finland Oy:lle. Insinöörityössä tutkittiin eurokoodi-mitoitukseen soveltuvia teräsrakenteiden palosuojamateriaaleja ja tehtiin niistä kustannusvertailua. Työssä esiteltiin lisäksi eri palosuojausmenetelmät. Lähteinä työssä käytettiin kirjallisuutta, internetiä ja haastatteluja.</p> <p>ETA-hyväksyttyjä teräsrakenteiden palosuojaukseen soveltuvia materiaaleja löydettiin odotettua enemmän, yhteensä 50. Sen vuoksi kustannusvertailu suoritettiin kymmenelle palosuojamateriaalille. Kustannusvertailu tehtiin kolmelle eri teräsprofiilille: HEA 360, putki-profiili 200x200x5 ja WQ-palkki. Vertailu tehtiin paloluokille R30-R240 ja kriittisen lämpötilan arvoille 350–750 °C. Saaduista arvoista tehtiin diagrammeja Excel-ohjelmalla.</p> <p>Diagrammeista havaittiin, että alhaisissa paloluokissa palosuojausmenetelmien hintaerot ovat hyvin pieniä. Suuremmissa paloluokissa palosuojamaalauksen kustannukset nousevat selvästi muita menetelmiä korkeammalle. Insinöörityön sivutuotteena syntyi myös Excel-laskentaohjelma kustannusvertailua varten.</p> <p>Palosuojamateriaalien selvittämisestä saavutettiin suuri hyöty, koska ETA-hyväksytyt materiaalit ovat ainoa vaihtoehto eurokoodi-mitoitukseen. Kustannusvertailu toimii apuna sopivan palosuojauksen valinnassa ja sen avulla palosuojauksen kustannukset voidaan ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Kustannusvertailun tulokset eivät kuitenkaan ole suoraan verrannollisia muihin kuin vertailussa olleisiin profiileihin, mutta niiden avulla voidaan karkeasti arvioida sopiva menetelmä eri paloluokan rakenteille. Kustannusvertailun tulokset pätevät ainoastaan standardipalolle. Laskenta-ohjelmalla voidaan jatkossa suorittaa kustannusvertailua myös muille profiileille.</p>	
Avainsanat	teräs, palosuojaus, palosuojausmenetelmä, kustannusvertailu

Author(s) Title	Jarkko Johansson Cost comparison for fire protection methods of steel structures
Number of Pages Date	39 pages + 4 appendices 25 November 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Aarne Seppänen, Senior Lecturer Pekka Toivanen, Section Manager
<p>This thesis was prepared for Pöyry Finland Ltd. The aim of this thesis was to examine structural steel fire protection materials suitable for eurocode-sizing and conduct cost comparison. In addition various methods of fire protection are presented. Literature, the Internet and interviews were used as sources.</p> <p>ETA materials applicable for fire protection of steel structures were found to exist more than expected, a total of 50. Therefore, the cost comparison was performed for ten fire protection materials. Three different steel sections were included for cost comparison: HEA 360, hollow section 200x200x5, and WQ-beam. The comparison was comprised of fire classes R30-R240 with critical temperatures of 350-750 ° C. The data collected allowed diagrams to be illustrated using Excel spreadsheets.</p> <p>Using the data from the diagrams it was discovered that the lower fire classes have an extremely small pricing variance between fire protection methods. In larger fire classes, intumescent coating costs will rise significantly higher than with the other methods. An Excel spreadsheet program for cost comparison was produced as a side product of the thesis.</p> <p>Great benefit was received from analyzing the fire protection materials because ETA materials are the only option for the eurocode-sizing. The cost comparison helps to choose suitable fire protection and provides foresight to costs of fire protection already in the planning phase. The results of cost comparison are not directly comparable with other sections however, they can be used as a rough estimation guide when selecting a suitable method for the different fire classes. The results of the cost comparison are valid only for standard fire. The Excel spreadsheet program can be used to perform a cost comparison to other profiles in the future.</p>	
Keywords	steel, fire protection, fire protection method, cost comparison

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Yritys	1
1.2	Työn taustat	1
1.3	Tavoitteet ja rajaukset	1
2	Määräykset ja ohjeet	2
2.1	Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999)	2
2.1.1	Rakenteiden lujuus ja vakaus	2
2.1.2	Paloturvallisuus	2
2.2	Rakentamismääräyskokoelma	3
2.2.1	Rakennuksen paloluokka	3
2.2.2	Palokuorma ja kantavien rakenteiden luokkavaatimukset	4
2.3	Rakennustuoteasetus	4
2.4	CE-merkintä ja ETA-hyväksyntä	5
2.4.1	Harmonisoitu tuotestandardi hEN	6
2.4.2	Eurooppalainen tekninen arviointi ETA	6
2.4.3	Suoritustasoilmoitus DoP	8
2.4.4	CE-merkityn tuotteen laadunvalvonta	8
3	Palosuojausmenetelmät	9
3.1	Palosuojamaalit	10
3.2	Palosuojalevyt	12
3.2.1	Kalsiumsilikaattilevy	12
3.2.2	Kipsilevy ja -elementti	12
3.2.3	Puukipsilevyt	13
3.2.4	Vermikuliittilevy	13
3.2.5	Mineraalivillalevy	13
3.2.6	Sementti-selluloosalevyt	13
3.3	Ruiskutteen	14
3.3.1	Vermikuliittiruiskutus	14
3.3.2	Mineraalikuituruiskutus	14
3.4	Palosuojaus rakenteellisin keinoin	15
3.4.1	Alaslaskettu katto suojauksena	15
3.4.2	Pilarit julkisivun ulkopuolelle	15

3.4.3	Pilarit seinän sisällä	16
3.5	Muut palosuojaustavat	16
3.5.1	Betoni	16
3.5.2	Tiili	17
3.5.3	Puu	17
3.5.4	Vesi	17
3.5.5	Palosuojarappaukset	18
3.6	Palosuojausmenetelmien vertailua	18
4	Rakenteiden palomitoitus	20
4.1	Menetelmät	20
4.1.1	Yksinkertaiset laskentamallit	20
4.1.2	Kehittyneet laskentamallit	21
4.1.3	Kokeet	21
4.2	Mitoituspalot	21
4.2.1	Standardipalo	22
4.2.2	Parametrinen palo	22
4.2.3	Toiminnallinen palomitoitus	23
5	Kustannusvertailu	24
5.1	Hankintakustannukset	26
5.1.1	Palosuojamaalit	27
5.1.2	Palosuojaruiskutteet ja -levyt	27
5.2	Asennuskustannukset	28
5.2.1	Palosuojamaalit	30
5.2.2	Palosuojaruiskutteet ja -levyt	30
5.3	Huoltokustannukset	31
5.4	Tulokset	32
6	Yhteenveto ja johtopäätökset	35
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset	
	Liite 2. Yhteenveto kustannusvertailussa olevista palosuojamateriaaleista	
	Liite 3. Kustannusvertailu rakenteen paloluokan mukaan	
	Liite 4. Kustannusvertailu rakenteen kriittisen lämpötilan mukaan	

Lyhenteet

CE-merkki	(ranskaksi <i>Conformité Européenne</i>) kertoo, että tuote täyttää sitä koskevat EU:n direktiivien vaatimukset ja tuotteen voi saattaa markkinoille Euroopan talousalueen maissa
CEN	Eurooppalainen standardisointijärjestö
DoP	Suoritusasoilmoitus (<i>Declaration of Performance</i>)
ETA	Eurooppalainen tekninen arviointi, joka johtaa CE-merkintään
ETAG	ETA guidelines, ETA-suuntaviivat
hEN	Harmonisoitu (yhdenmukaistettu) tuotestandardi
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
VTT	Valtion Tieteellinen Tutkimuskeskus
tth	työntekijätunti

1 Johdanto

1.1 Yritys

Pöyry on kansainvälinen yritys, joka tarjoaa konsultointi- ja suunnittelupalveluja väylä-, kunnallisinfra, kiinteistö- sekä energia- ja teollisuusaloilla. Toimipisteitä Pöyryllä on yli 50 maassa. Alallaan Pöyry on Suomen suurin ja työllistää lähes 2000 ihmistä 20 paikkakunnalla. Toimiala on teollisuuden rakennesuunnittelu, jonka palvelut kattavat sekä teollisuushankkeiden arkkitehti- ja rakennesuunnittelun ja suunnittelun koordinoinnin että hankkeen rakennuttamisen. [1.]

1.2 Työn taustat

Tilaajayrityksen suunnittelukohteena on erilaisia teollisuuden teräsrakenteita, joiden palosuojaus pitäisi saada toteutettua nopealla ja kustannustehokkaalla tavalla. Uusi rakennustuoteasetus astui kokonaisuudessaan voimaan 1.7.2013. Sen myötä noin 80 % rakennustuotteista tuli pakolliseksi CE-merkintä, joka ilmoittaa tuotteen ominaisuudet yhdenmukaisella eurooppalaisella tavalla. Alalla on tarve selvittää eurokoodimitoitukseen soveltuvat palosuojamateriaalit, jotka ovat joko CE-merkittyjä tai ETA-hyväksytyjä. Lisäksi ongelmana on, että monissa teollisuuden suunnittelukohteissa ilmastorasitusluokka on suurempi kuin C2, jolloin perinteiset palonsuojamaalit eivät ole riittävä vaihtoehto.

1.3 Tavoitteet ja rajaukset

Insinööriyön tavoitteena on löytää tapauskohtaisesti hyvä, nopea ja kustannustehokas palosuojausmenetelmä erilaisiin teräsrakenteisiin teollisuuskohteissa. Työssä perehdytään erilaisiin palosuojaukseen vaikuttaviin määräyksiin ja ohjeisiin, kuten CE-merkintään. Lisäksi insinööriyössä esitellään teräsrakenteille käytettävät palosuojausmenetelmät ja vertaillaan eri menetelmien etuja ja haittoja. Työssä perehdytään rakenteiden palomitoitukseen sekä menetelmiin, joilla voidaan osoittaa palomitoituksen täytävän vaatimukset. Työssä esitellään teräkselle soveltuvat ETA-hyväksytyt palosuojamateriaalit, jotka sopivat eurokoodimitoitukseen. ETA-hyväksytyistä palosuojamateri-

aaleista tehdään karkeaa kustannusvertailua ottaen huomioon sekä hankinta-, asennus- että huoltokustannukset. Kustannusvertailu suoritetaan kolmelle eri teräsrakenteelle: rakenneputki 200x200x5, HEA 360 ja WQ-palkki.

2 Määräykset ja ohjeet

Tähän lukuun on poimittu maankäytön- ja rakennuslaista, rakentamismääräyskokoelmasta ja rakennustuoteasetuksesta insinööriyöhön keskeisesti liittyviä kohtia. Luvussa 2.3: Rakennustuoteasetus kerrotaan myös CE-merkinnästä ja ETA-hyväksynnästä, joka on tullut 1.7.2013 pakolliseksi kaikissa jäsenmaissa. Tämä koskee noin 80 % rakennustuotteista.

2.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999)

Maankäyttö- ja rakennuslaki asettaa rakennushankkeeseen ryhtyvälle monia vaatimuksia, joista insinööriyön kannalta tärkeimmät ovat 117 a § rakenteiden lujuus ja vakaus ja 117 b § paloturvallisuus. Rakentamista koskevat säännökset ja määräykset maankäyttö- ja rakennuslaista on koottu rakentamismääräyskokoelmaan. Rakentamismääräyskokoelmaa käsitellään kohdassa 2.2.

2.1.1 Rakenteiden lujuus ja vakaus

- ”Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan siten, että sen rakenteet ovat lujia ja vakaita, soveltuvat rakennuspaikan olosuhteisiin ja kestävät rakennuksen suunnittelun käyttöiän. Kantavien rakenteiden suunnittelun ja mitoituksen on perustuttava rakenteiden mekaniikan sääntöihin ja yleisesti hyväksytyihin suunnitteluperusteisiin taikka luotettaviin koetuloksiin tai muihin käytettävissä oleviin tietoihin. Rakennuksen rakentamisessa on käytettävä rakenteiden lujuuden ja vakauden kannalta soveltuvia rakennustuotteita.” [2.]

2.1.2 Paloturvallisuus

- ”Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla paloturvalliseksi. Palon syttymisen vaaraa on rajoitettava. Rakennuksen kantavien rakenteiden on oltava sellaiset, että ne palon sattuessa kestävät vähimmäisajan ottaen huomioon rakennuksen sortuminen, poistumisen

turvaaminen, pelastustoiminta ja palon hallintaan saaminen. Palon ja savun kehittymistä ja leviämistä rakennuksessa sekä palon leviämistä lähistöllä oleviin rakennuksiin on pystyttävä rajoittamaan. Rakennuksen rakentamisessa on käytettävä paloturvallisuuden kannalta soveltuvia rakennustuotteita ja teknisiä laitteistoja.” [2.]

2.2 Rakentamismääräyskokoelma

Rakentamismääräyskokoelma koostuu seitsemästä osasta, jotka ovat yleinen osa, rakenteiden lujuus, eristykset, LVI ja energiatalous, rakenteellinen paloturvallisuus, yleinen rakennesuunnittelu ja asuntorakentaminen. Osat on jaettu vielä alaosiin, joista osa E1 käsittelee paloturvallisuuteen liittyviä määräyksiä ja ohjeita. Osassa E1 annetaan kansallisella tasolla vaatimuksia muun muassa rakennuksen paloluokasta, palokuormasta, palo-osastojen koosta, rakennustarvikkeiden luokkavaatimuksista, poistumisesta palon sattuessa ja sammutus- ja pelastustehtävien järjestelystä. Rakennusosien ja -tarvikkeiden luokitusjärjestelmä perustuu EN-standardeihin ja rakennuksen paloluokka perustuu kansallisiin määräyksiin. Jotta rakennus täyttäisi paloturvallisuusvaatimuksen, tulee se suunnitella ja rakentaa paloturvallisuusmääräysten ja -ohjeiden sisältämien paloluokkien ja lukuarvojen mukaan. Rakennus voidaan myös suunnitella oletetun palonkehityksen eli toiminnallisen palon perusteella. Toiminnallista palomitoitusta käsitellään luvussa 4.2.3. [3.]

2.2.1 Rakennuksen paloluokka

Tuotanto- ja varastorakennukset jaetaan kahteen paloturvallisuusluokkaan kohteen toiminnan mukaan.

- Paloturvallisuusluokka 1
toiminnot, joihin liittyy vähäinen tai kohtuullinen palovaara ja
- paloturvallisuusluokka 2
toiminnot, joihin liittyy huomattava tai suuri palovaara taikka joissa voi esiintyä räjähdysvaara [3.]

Rakennukset jaetaan kolmeen eri paloluokkaan, jotka ovat P1, P2 ja P3. Rakennuksen eri osat voivat kuulua eri paloluokkiin edellyttäen, että palon leviäminen on estetty palomuurilla. P3-luokkaan kuuluvissa rakennuksissa voi olla vain yksi kerros, jonka kor-

keus on enintään 14 metriä. Henkilöiden lukumäärää ei ole rajoitettu, mutta rakennuksen paloturvallisuusluokan tulee pääsääntöisesti olla 1. P2-luokan rakennuksissa voi olla enintään kaksi kerrosta ja rakennuksen korkeus voi tällöin olla enintään 9 metriä. Työntekijöitä saa olla korkeintaan 50 ja paloturvallisuusluokan tulee olla 1. Yksikerroksisessa P2-luokan rakennuksessa ei ole rajoitettu paloturvallisuusluokkaa, rakennuksen enimmäiskorkeutta tai työntekijöiden määrää. P1-luokkaan kuuluvat rakennukset, jotka eivät täytä P3- tai P2-luokkaan liittyviä vaatimuksia, kuten kerrosten tai henkilöiden lukumäärää. P1-luokan rakennuksen on kestettävä tulipalo sortumatta. [3.]

2.2.2 Palokuorma ja kantavien rakenteiden luokkavaatimukset

Tuotanto- ja varastotilojen palokuorma määritellään tai arvioidaan kohdekohtaisesti. Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset määräytyvät rakennuksen paloluokan ja -kuorman mukaan. Kantavan rakennusosan paloluokka koostuu kirjaimista R, E, EI, sekä numerosta 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, tai 240. R kuvaa kantavuutta, E tiiveyttä, I eristävyyttä ja perässä seuraavalla numerolla ilmaistaan vaadittava kesto aika minuutteina. Esimerkiksi R120 tarkoittaa, että rakennusosan kantavuus tulipalossa täytyy säilyä 120 minuuttia. [3.]

Paloluokat P1, P2 ja P3 sekä palokuorman määrä asettavat vaatimuksia kantavan rakennusosan paloluokalle. P3-luokan rakennukselle ei ole vaatimuksia rakennusosan paloluokan suhteen. P2-luokan rakennuksen rakenteet tulevat olla vähintään R30 riippumatta palokuorman määrästä. P1-luokan rakennuksessa rakenteiden tulee olla vähintään R60. Kantavien rakenteiden tarkemmat luokkavaatimukset on esitetty liitteessä 1. Yksikerroksisten tuotanto- ja varastorakennuksien kantavien ja runkoa jäykistävien rakenteiden luokkavaatimuksille voidaan sallia lievennyksiä tietyin ehdoin. Ehdot on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa E2. [3.]

2.3 Rakennustuoteasetus

Rakennustuotteiden CE-merkinnästä säädetään Rakennustuoteasetuksessa 305/2001. Asetus tuli kokonaisuudessaan voimaan kaikissa EU-maissa 1.7.2013 alkaen. Rakennustuoteasetus sisältää olennaiset terveyttä ja turvallisuutta koskevat vaatimukset. Perusvaatimuksia ovat:

- mekaaninen lujuus ja vakaus
- paloturvallisuus
- hygienia, terveys ja ympäristö
- käyttöturvallisuus
- meluntorjunta
- energiatalous ja lämmöneristys. [4.]

Paloturvallisuuden osalta vaaditaan, että rakennus on suunniteltava ja rakennettava niin, että tulipalotilanteessa:

- kantavien rakenteiden voidaan olettaa kestävän tietyn ajan
- tulen ja savun kehittyminen ja leviäminen rakennuksen sisällä on rajoitettu
- tulen leviäminen naapurirakennuksiin on rajoitettu
- henkilöt pääsevät poistumaan rakennuksesta tai heidät voidaan pelastaa muilla keinoilla
- pelastushenkilön turvallisuus on otettu huomioon. [5.]

2.4 CE-merkintä ja ETA-hyväksyntä

Rakennustuoteasetuksen myötä CE-merkinnästä tuli pakollinen 1.7.2013 alkaen. Tuotteen ominaisuudet on CE-merkityssä tuotteessa ilmoitettu yhdenmukaisella eurooppalaisella tavalla, jolloin tuote voidaan tuoda markkinoille koko Euroopan talousalueessa. Rakennustuotteen CE-merkintä ilmoittaa tuotteen ominaisuudet, mutta ei automaattisesti takaa, että tuote täyttää kohdekohtaiset määräykset. CE-merkitty tuote ei esimerkiksi välttämättä sovellu Suomen sääolosuhteisiin, vaikka se muuten soveltuisi kyseessä olevaan käyttötarkoitukseen. [4;6.]

CE-merkintä koskee sekä rakennustuotteita, jotka kuuluvat harmonisoitujen tuotestandardien (hEN) piiriin että joille on myönnetty Eurooppalainen tekninen arviointi eli ETA. Näin ollen CE-merkintä koskee noin 80 % rakennustuotteista. Tuotteen kelpoisuutta ei CE-merkityissä tuotteissa voida osoittaa muilla menetelmillä. CE-merkintää ei kuitenkaan vaadita seuraavissa tapauksissa:

1. Rakennustuote valmistetaan ei-sarjavalmisteisena yksilöllisesti tiettyyn rakennuskohteeseen ja valmistaja asentaa sen itse paikoilleen.
2. Rakennustuote valmistetaan rakennuspaikalla.
3. Rakennustuote valmistetaan perinteiseen tapaan suojeltuun rakennuskohteeseen. [4;6.]

2.4.1 Harmonisoitu tuotestandardi hEN

Eurooppalainen standardijärjestö eli CEN laatii harmonisoituja tuotestandardeja eli hEN:jä, joissa esitetään tuoteryhmäkohtaisesti ilmoitettavat ominaisuudet, laadunvalvonnan vaatimukset ja CE-merkinnässä tarvittavat tiedot. Tuotestandardi ei välttämättä kata kaikkia tuotteiden käyttötarkoituksia, esimerkiksi lämmöneristeitä koskeva hEN ei sisällä teräsrakenteiden palosuojaukseen vaadittavia ominaisuuksia. Tällöin tarvitaan CE-merkinnän lisäksi muutakin informaatiota tuotteen soveltuvuudesta palosuojaukseen, esimerkiksi Suomessa tyyppihyväksyntä tai ETA. Suomessa on alettu laatia harmonisoituja tuotestandardeja täydentäviä kansallisia soveltamisstandardeja. Nämä sisältävät suosituksen CE-merkinnässä ilmoitettavista käyttökohteista ja tarvittaessa näitä ominaisuuksia koskevat vähimmäisvaatimustasot tai -luokat. [4;6;7.]

2.4.2 Eurooppalainen tekninen arviointi ETA

Eurooppalainen tekninen arviointi eli ETA on vapaaehtoinen CE-merkintään johtava arviointi. ETA:a voidaan hakea rakennustuotteille, joille ei ole harmonisoitua tuotestandardia tai tuotestandardin testimenetelmät eivät sovi tuotteelle. ETA-hyväksytyt palosuojamateriaalit on koottu taulukkoon 1. Vuoteen 2013 mennessä yli 4000 tuotteelle on myönnetty ETA. Hyväksyntä on yleistynyt rajusti, esimerkiksi vuonna 2012 hyväk-

syttiin 620 tuotetta, kun vuoden 2013 kesäkuun loppuun mennessä hyväksyttiin 1032 tuotetta. [4;7;8.]

Taulukko 1 ETA-hyväksytyt palosuojamateriaalit [8.]

Palosuojamaalit			
ETA - 10/0086	Chartek 1709	ETA - 12/0355	Nullifire S707-60
ETA - 10/0470	INTERCHAR 212	ETA - 12/0459	BARRIER 87/1151
ETA - 11/0014	Sika Unitherm platinum	ETA - 12/0581	HEMPACORE ONE 43600 & HEMPACORE ONE FD 43601
ETA - 11/0045	Interchar 1120	ETA - 12/0595	Stofire H-60
ETA - 11/0159	Sika Unitherm steel W30	ETA - 12/0596	FireFilm 70-60
ETA - 11/0200	Sika Unitherm opal	ETA - 12/0597	Firefilm 70-120
ETA - 11/0230	Thermo-Lag 3000	ETA - 13/0113	FIRETEX FX5120
ETA - 11/0252	Hensotherm 3KS R90/R120 (320KS)	ETA - 13/0198	PHOENIX STW
ETA - 11/0324	Sika Unitherm Steel S	ETA - 13/0356	PROMAPAIN® SC3
ETA - 11/0430	pyroplast-ST 100	ETA - 13/0531	Cafco SPRAYFILM® WB2
ETA - 11/0456	Hensotherm 310KS	ETA - 13/0598	Promapaint SC1
ETA - 11/0460	Interchar 1160	ETA - 13/0676	FIRETEX M90/02
ETA - 11/0481	Hensotherm 410KS	ETA - 13/0837	HCA WL STEEL
ETA - 12/0049	FIRETEX FX2002 and FIRETEX FX1002	ETA - 13/0895	C-THERMIC300 WB
ETA - 12/0050	Hensotherm 420KS	ETA - 13/0926	Aithon A90
ETA - 12/0052	Nullifire S707-120	ETA - 13/0986	Cafco SPRAYFILM® WB6
ETA - 12/0324	NOVATHERM 4FRe		
Palosuojaruiskutteen			
ETA - 10/0082	Monokote MK-6	ETA - 12/0005	Perlifoc
ETA - 10/0148	PROMASPRAY F250	ETA - 13/0098	PROMILL IGNIFUGO
ETA - 10/0316	ISOLATEK TYPE 300	ETA - 13/0221	Igniplaster®
ETA - 10/0349	PROMASPRAY T	ETA - 13/0379	PROMASPRAY® C450
ETA - 11/0043	PROMASPRAY P300	ETA - 13/0382	Cafco MANDOLITE® CP2
ETA - 11/0229	VERMIPLASTER	ETA - 13/0519	"Knauf MP 75 Fire"
ETA - 11/0367	CAFCO 300	ETA - 13/0894	IGNIVER
ETA - 11/0480	SPRAYFIBER-F	ETA - 13/0923	EQTEC MORTERO
Palosuojalevyt			
ETA - 07/0297	PROMATECT®-200	ETA - 09/0275	CONLIT(R) 150 P and CONLIT(R) 150A/F
ETA - 08/0093	PAROC FireSAFE System	ETA - 12/0231	FireFree® Scandiboard 850
ETA - 08/0161	PROMATECT®-250	ETA - 13/0599	SUPALUX®-EA

Teräsrakenteiden palosuojaukseen soveltuvat ETA-hyväksytyt materiaalit ovat ETAG 018 osien 2-4 mukaisia. ETAG 018 osa 1 määrittää palosuojamateriaalien käyttökohdet tyypeittäin, esimerkiksi tyyppi 4 käsittää teräsrakenteille sopivat palosuojamateriaalit. Taulukossa 2 on esitetty ETAG 018-1 mukaiset käyttökohteet. Työssä käsitellään vain teräsrakenteille soveltuvia palosuojamateriaaleja, jotka ovat siis tyyppin 4 mukaisia tuotteita. [9.]

Taulukko 2 Erityyppisten palosuojamateriaalien käyttökohteet [10].

Käyttökohde	Tyyppi
Vaakatasojen suojaus, mukaan lukien alakatto	1
Pystytasojen suojaus	2
Kantavat betonielementit	3
Kantavat teräsrakenteet	4
Kantavat poimulevy-liittolaatat	5
Kantavat liittopilarit	6
Kantavat puurakenteet	7
Ei-kantavat palo-osastoivat rakenteet	8
Talotekniset rakenteet	9
Muut	10

2.4.3 Suoritustasoilmoitus DoP

Rakennustuoteasetus edellyttää, että kaikille markkinoille tuotaville CE-merkityille rakennustuotteille laaditaan suoritustasoilmoitus. Suoritustasoilmoitus laaditaan harmonisoidun tuotestandardin tai ETA:n perusteella. Suoritustasoilmoituksessa ilmoitetaan kansallisten viranomaissäädösten täyttämiseen tarvittavien ominaisuuksien arvot. Tietojen oikeellisuudesta vastaa tuotteen valmistaja. [4;6;7.]

2.4.4 CE-merkityn tuotteen laadunvalvonta

CE-merkittyjen tuotteiden laadunvalvonta käsittää suoritustason pysyvyyden arvioinnin ja varmentamisen sekä markkinavalvonnan. Suoritustason pysyvyyttä ja varmentamista arvioivat valmistaja ja maahantuoja. Lisäksi suurinta osaa tuotteista arvioivat ilmoitetut laitokset, jotka tekevät CE-merkintää edellyttäviä testauksia rakennustuotteille rakennustuoteasetuksen mukaisesti. Turvallisuus ja kemikaalivirasto eli Tukes vastaa CE-merkittyjen tuotteiden markkinavalvonnasta Suomessa. [4;11.]

3 Palosuojausmenetelmät

Teräsrakenteen palonkestoaikaa voidaan pidentää joko eristämällä rakenne lämmöstä tai parantamalla rakenteen kykyä sitoa lämpöenergiaa. Jotkut palosuojamateriaalit, kuten vermikuliittilevyt, toimivat sekä eristeenä että lämpöä sitovana aineena yhtä aikaa. Taulukossa 3 on esitetty erilaisia palosuojausmenetelmiä toimintaperiaatteen mukaan jaettuna. Suojaustehoon vaikuttavat pääasiassa käytettyjen palosuojamateriaalien lämmönjohtavuus ja veden määrä mutta myös ominaislämpökapasiteetti ja tiheys. Veden määrällä on vaikutusta lähinnä palon alkuvaiheessa, kun lämpötila ei veden höyrystymisen aikana nouse yli 100 °C:n. Ominaislämpökapasiteetille ja tiheydelle käytetään yleensä vakioarvoa, vaikka lämpötila vaikuttaa kyseisiin ominaisuuksiin. [12;13;14.]

Teräsrakenteet voidaan suojata ulkopuolelta palosuojamaalilla, -levytyksellä, -ruiskutteilla, -rappauksella, betonilla tai muurauksella. Toisaalta täyttämällä teräsrakenne vedellä tai betonilla voidaan lisätä niiden lämmönsitomiskykyä muuttamatta niiden ulkonäköä tai muotoa. Palonkestävyysaikaan voidaan vaikuttaa myös rakenteellisin ratkaisuin, esimerkiksi sijoittamalla pilari seinärakenteen sisään. [12;13;15.]

Taulukko 3 Palosuojausmenetelmät [15].

Periaate	Menetelmä
Lämmöneristäminen	palosuojalevyt
	palosuojamaalit
	palosuojaruiskutteet
Lämmönsitomiskyvyn parantaminen	betonitäyttö
	vesitäyttö
	sprinklaus
Rakenteellinen palosuojaus	alaslasketut katot
	pilareiden sijoittaminen palotilan ulkopuolelle
	pilareiden sijoittaminen seinän sisään

Palosuojausmenetelmät voidaan jakaa edelleen työtavan perusteella kuiviin ja märkiin menetelmiin. Kuivat palosuojausmenetelmät kiinnitetään teräsrakenteeseen joko mekaanisin kiinnikkein tai koteloidaan teräsrakenteen ympärille. Tällaisia ovat erilaiset palosuojalevyt, tiili ja puu. Märkiin menetelmiin kuuluvat erilaiset ruiskutteet, palosuojamaali, -rappaus, betoni ja vesi. Palosuojaus mitoitetaan ottaen huomioon rakenteen tai rakenneosan kriittinen lämpötila, poikkileikkaustekijä ja palonkesto aika. Kullekin profiilityypille valitaan erikseen sopiva kerrospaksuus. [12;13;15;16.]

Teräsrakenteiden palosuojauksessa käytetään yleensä palossa paisuvia maaleja. Niiden toiminta perustuu paisumisreaktioon, joka alkaa lämpötilan kohotessa 250–300 °C:n. Maali paisuu moninkertaiseksi, alle millimetrin paksuinen maalikerros voi paisua useiden senttimetrien paksuiseksi vaahtokerrokseksi. Syntynyt vaahtokerros hiiltyy palon aikana ja suojaa näin rakenteen palolta. Palosuojamaalausta voidaan käyttää, kun palonkestovaatimus on korkeintaan R120. Palosuojamaali levitetään kuten korrosionestomaalit. Palosuojamaalin kuivakalvon kokonaispaksuus on yleensä 0,2–5 millimetriä. Jotta palosuojamaalia voidaan käyttää, tulee putkiprofiilien ainepaksuuden olla vähintään 3,6 millimetriä ja avoprofiilien 5–8 millimetriä. [9;12;13;15.]

Palosuojamaalaus suoritetaan joko maalaamossa tai asennustyömaalla. Maalaus on helpompi toteuttaa maalaamossa, mutta vaikeutena on palosuojamaalin huono kestävyys sekä mekaanista rasitusta että sää- ja kosteusrasitusta vastaan. Sen vuoksi maalaamossa maalattu profiili on varustettava nostokorvakkeilla ja suojattava hyvin kuljetuksen, varastoinnin ja rakentamisen ajaksi. Maalauspaikan valintaan vaikuttaa myös käytettävä liitos. Pulttiliitoksin toteutettavat rakenteet voidaan maalata maalaamossa, mutta hitsattavat rakenteet on yleensä maalattava vasta työmaalla. Tämä johtuu siitä, että hitsausliitos vaurioittaa maalausta. Työmaalla maalataan usein myös rakennuksen visuaalisesti tärkeät osat. Lisäksi betonin kanssa kosketuksissa olevat rakenteet, kuten esimerkiksi WQ-palkki, maalataan vasta työmaalla. Työmaamaalauksessa on otettava huomioon aikataulu ja sääolosuhteet. Rakenteeseen kiinnitetään riittävästi palosuojamaalauksen osoittavia kilpiä. Kuvassa 1 on esitetty esimerkki palosuojauksesta kertovasta merkinnästä. [9;15;16;19.]



Kuva 1 Palosuojamaalauksesta osoittava kilpi

3.2 Palosuojalevyt

Palosuojalevyjen suojauskyky perustuu joko lämmöneristyskykyyn, lämmönsitomiseen tai molempien yhdistelmään riippuen tuotteesta. Levyjä voidaan työstää tavanomaisilla puuntyöstövälineillä ja vahvistaa lasikuidun avulla. Palosuojalevyt kiinnitetään yleensä toisiinsa mekaanisesti tai liimaamalla teräsprofiilin pintaan. Liimatessa pinnan on oltava kuiva ja puhdas sekä lämpötilan on oltava yli 0 °C. [12;13.]

3.2.1 Kalsiumsilikaattilevy

Kalsiumsilikaattilevyjen tiheys on 250–950 kg/m³ ja paksuus 6–100 millimetriä riippuen tuotteesta. Levyissä on kuituvahvistus ja niitä voidaan työstää tavanomaisilla puuntyöstövälineillä. Suojattava teräspinta ei vaadi mitään esikäsitelyä. Levyjen kiinnittäminen tapahtuu ruuveilla tai hakasilla, joko koteloimalla teräsohutlevyprofiilien avulla. [12;15;20.]

3.2.2 Kipsilevy ja -elementti

Kipsilevyn tiheys on 770–980 kg/m³. Teräsrakenteen palosuojaukseen käytetään yleensä 13 tai 15 millimetriä paksuja kipsilevyjä korkeintaan neljänä kerroksena. Kipsin paloeristyskyky perustuu lähinnä kipsin sisältämään suuren kidevesimäärään, jonka höyrystäminen kuluttaa lämpöenergiaa. Höyrystymisen aikana teräksen lämpötila pysyy 100 °C:ssa ja alkaa kohota vasta kideveden haihduttua, kun vahvistamaton kipsilevy rikkoutuu. Levyjen lujuutta voidaan parantaa lisäämällä lasikuituja sideaineeksi. Levyt kiinnitetään teräsrakenteen ympärille koteloksi teräsohutlevyprofiilien avulla, jotka puolestaan kiinnitetään joko välipohjaan tai seinään. [12;13;14;15.]

Kipsielementtejä valmistetaan sekoittamalla kipsiä, perliittiä ja lasikuitua. Elementtejä voidaan valmistaa erimuotoisina, esimerkiksi puolilympyrän muotoiset kipsielementit sopivat pyöreiden pilareiden palosuojaukseen. Elementit liimataan toisiinsa työmaalla. [15.]

3.2.3 Puukipsilevyt

Puukipsilevyn tiheys on noin 1200 kg/m^3 ja paksuus 15–22 millimetriä. Levyt valmistetaan puukuidun ja kipsin seoksesta. Levyt kiinnitetään toisiinsa ruuvein tai nauloin. [15.]

3.2.4 Vermikuliittilevy

Vermikuliittilevyjen tiheys on $350\text{--}500 \text{ kg/m}^3$ ja paksuus 16–80 millimetriä. Levyt valmistetaan vermikuliitista eli paisutetusta kiilteestä ja silikaattipitoisesta sideaineesta kuten sementistä. Palosuojauskyky perustuu sekä sideaineen vesimäärään että vermikuliitin hyvään lämmöneristyskykyyn. Levyjä voidaan työstää tavanomaisilla puuntyöstövälineillä ja ne voidaan maalata tai muuten pinnoittaa. Vermikuliittilevyt voidaan asentaa joko profiilia myötäillen tai profiilin ympärille koteloksi. Kiinnityksessä käytetään nautoja, ruuveja tai lämpöä kestävää laastia. [12;13.]

3.2.5 Mineraalivillalevy

Mineraalivillalevyjen tiheys on $100\text{--}400 \text{ kg/m}^3$ ja kokonaispaksuus 10–120 millimetriä. Mineraalivillalla tarkoitetaan sekä lasi- että kivivillaa. Mineraalivillan käyttö palosuojauksessa perustuu sen hyvään lämmöneristyskykyyn. Palosuojaukseen sopivat sellaiset mineraalivillat, joiden sintraantumislämpötila on $800\text{--}1100 \text{ }^\circ\text{C}$. Sintraantumislämpötilalla tarkoitetaan lämpötilaa, jossa mineraalivillan kuidut sulavat toisiinsa kiinni. [12;13.]

Levyt kiinnitetään joko mekaanisesti tai liimaamalla. Yleisin kiinnitystapa on mekaaninen, jossa teräspiikit joko hitsataan tai ammutaan pintaan kiinni. Tämän jälkeen levyt kiinnitetään piikkien läpi profiilin pintaan tai koteloimalla. Suurempaa mekaanista kestävyyttä vaativissa kohdissa voidaan mineraalivillalevyt vielä verhot. Saumojen tiiviyyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska levyt tulevat yhtenä kerroksena. Tarvittaessa levyjen kiinnipysyminen voidaan varmistaa käyttämällä esimerkiksi sinkittyä teräslankaverkkoa. [12;13;15.]

3.2.6 Sementti-selluloosalevyt

Sementti-selluloosalevyn tiheys on noin 1100 kg/m^3 . Valmistuksessa käytetään sementtiä, selluloosaa ja erilaisia mineraalisia ainesosia. Levyt sopivat käytettäväksi ke-

vyissä, osastoivissa seinissä. Ne kiinnitetään suoraan teräsrunkoon joko ruuveilla tai kiinnityslistojen avulla. [15.]

3.3 Palosuoja-ruiskutteen

Erilaisilla ruiskutteilla voidaan suorien ja tasaisten pintojen lisäksi suojata helposti ja saumattomasti myös epätasaiset pinnat. Teräsprofiilin suojaus on mahdollista toteuttaa profiilia myötäillen tai ruiskuttamalla profiili umpeen. Jotta ruiskute tarttuisi, tulee teräsprofiilin pinnan olla kuiva ja puhdas esimerkiksi öljystä, pölystä ja muusta liasta. Hie-
man ruosteinen pinta ei kuitenkaan ole este ruiskutuksen kiinnipysymiselle. Ruiskutus suojaa pääsääntöisesti teräsrakenteen myös korroosiolta. [12.]

Eristepaksuuden ollessa yli 45 millimetriä, ruiskutteen kiinnipysyminen varmistetaan käyttämällä tukirauchoitusta, esimerkiksi sinkittyä teräsverkkoa. Tukirauchoitus toimii samalla myös kiinnitysalustana. Ennen kuivumistaan ruiskutteen ovat herkkiä pakkaselle ja juoksevalle vedelle. Työn suorittamisen ja kuivumisen aikana lämpötilan tulee olla vähintään +5 °C. [12;14.]

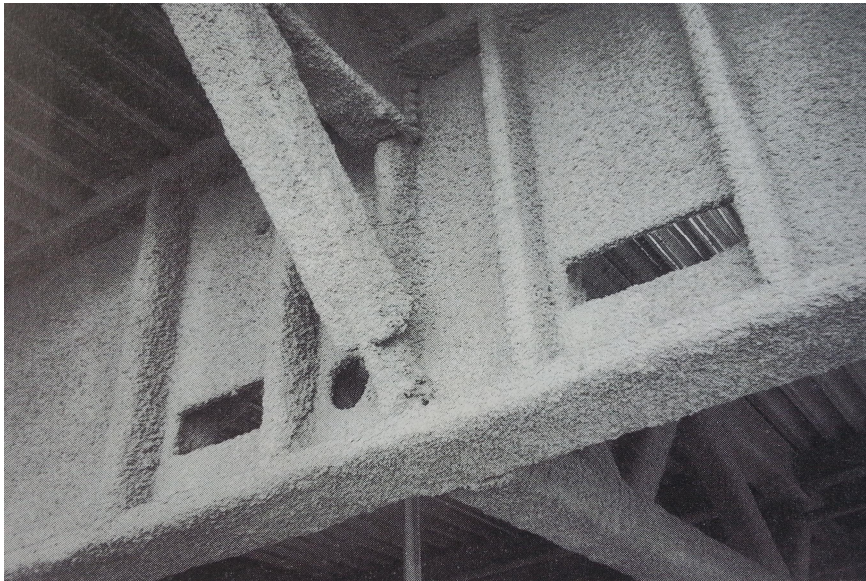
3.3.1 Vermikuliittiruiskutus

Vermikuliittiruiskutuksen tiheys on 300–800 kg/m³ ja paksuus 10–60 millimetriä. Ruiskutus voidaan tehdä joko yhtenä tai useampana 10–15 mm paksuisena kerroksena. Massa muodostuu vermikuliitista, sideaineista kuten sementistä, kalkista tai kipsistä sekä vedestä. Ruiskutus voidaan toteuttaa suoraan teräsrakenteen pinnalle tai tukiverkolle. Jos tarvitaan mekaanista kestävyyttä, vermikuliittiruiskutus voidaan suojata samoilla menetelmillä kuin mineraalikuittiruiskutus. [12;15.]

3.3.2 Mineraalikuittiruiskutus

Mineraalikuittiruiskutuksen tiheys on 220–500 kg/m³ ja kerroksen paksuus noin 10–80 millimetriä riippuen eristystarpeesta. Tässä menetelmässä mineraalivillakuidut ja sementti tai kipsi ruiskutetaan veden kanssa profiilin pintaan. Valmiin ruiskutteen pinta on huokoinen eikä ilman suojaamista kestä mekaanista rasitusta. Pinta voidaan suojata esimerkiksi rappamalla tai päällystämällä joko lasikuittukankaalla tai levyrakenteella.

Kuvassa 2 on esitetty eräällä mineraalikuituruiskutteella suojattu teräsrakenne. [12;13;15.]



Kuva 2 Cafco Blaze Shield D-C/F -mineraalikuituruiskutteella suojatut teräsrakenteet [12].

3.4 Palosuojaus rakenteellisin keinoin

3.4.1 Alaslaskettu katto suojauksena

Alaslasketulla katolla voidaan suojata yläpuolinen teräsrakenne, esimerkiksi välipohjapalkit. Tällöin alaslaskettu katto tulee valmistaa tiiviisti sijoitetusta, palonkestävästä materiaalista ja ripustus tulee suorittaa asianmukaisesti. Näin estetään savukaasujen ja lämmön pääsy teräsrakenteeseen. Alaslasketun katon ripustuksen on huomattu olevan usein palonkestoajan määrittävä tekijä. Suojausvaikutus vaihtelee suuresti kattotyypeittäin R15–R180 minuutin välillä, jonka vuoksi palonkesto aika tulisiikin määrittää polttokokein. [13;14.]

3.4.2 Pilarit julkisivun ulkopuolelle

Jos pilarit sijoitetaan rakennuksen ulkopuolelle, ei pilareita mitoittaessa tarvitse ottaa huomioon lämpötilan nousua. Tällöin pilarit tulee kuitenkin sijoittaa riittävän kauas esimerkiksi ikkunoista, sillä ikkunan kautta mahdollisesti poistuvat savukaasut ja liekit voivat nostaa lähellä sijaitsevien pilarien lämpötilaa. Jos ikkuna-aukkoja on tiheässä, tulee

pilarit suojata liekkisuojaalla, kuten teräsohutlevyllä. Tällöin teräksen lämpötila lasketaan eurokoodin EN 1993-1-2 liitteen B mukaisesti. [15;16.]

3.4.3 Pilarit seinän sisällä

Sijoittamalla pilarit seinärakenteeseen, voidaan pienentää palolle altistuvaa pinta-alaa. Pilarien kohdalla tulee seinärakenteissa käyttää tällöin palonkestäviä materiaaleja. Seinän sisällä olevaan pilariin on kuitenkin vaikea asentaa jäykistäviä rakenneosia. [15.]

3.5 Muut palosuojaustavat

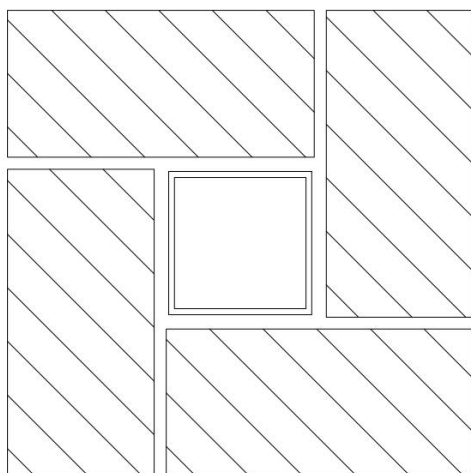
3.5.1 Betoni

Betonin käyttö palosuojauksessa perustuu sen suureen lämpökapasiteettiin. Yhdistämällä terästä ja betonia sopivalla tavalla saadaan käyttöön molempien materiaalien hyvät puolet sekä normaali- että palotilanteessa. Näin saadaan sekä luja että hyvin lämpöä kestävä rakenne. Esimerkkejä teräksen ja betonin yhdistelmistä ovat kannatinpalkki, liittolaatta ja betonitäytteinen kotelopilari. Koska betoni on raskasta, tulee sen kiinnittäminen suorittaa huolellisesti. Helpointa on käyttää huokoisia betonilaatuja, kuten kevytbetonia. Betonin suojapaksuus standardipalossa saadaan eurokoodin osasta EN 1994-1-2. [12;13;21.]

Betonilla voidaan myös täyttää erilaisia koteloprofiileja. Menetelmä on tehokas, eikä betonilla täyttäminen muuta teräsprofiilin ulkonäköä tai muotoa. Betonitäyttö sopii siis myös visuaalisesti tärkeiden rakenteiden palosuojaukseen. Betonitäytteisen teräsprofiilin lämpötilan nousu on sitä maltillisempaa, mitä ohuemmat profiilin seinämät ovat. Kotelorakenteeseen tulee kuitenkin jättää reikiä, jotta paine pääsee purkautumaan lämpötilan noustessa. Betonitäyttö suoritetaan usein vasta työmaalla. Pilarit tulee täyttää riittävän matalin valukerroksin ja massa tulee tiivistää huolellisesti. Palonkestoaikaa voidaan parantaa myös betonin raudoituksen määrää nostamalla ja näin voidaan mahdollisesti monikerroksisessa rakennuksessa käyttää samaa pilarikokoa rakennuksen kaikissa kerroksissa. Betonitäytteisen liittopilarin mitoitusohjeet löytyvät Eurokoodin liittorakenneosista EN 1994-1-1 ja EN 1994-1-2. [13;15.]

3.5.2 Tiili

Tiilen käyttö palosuojauksessa perustuu sen suureen lämpökapasiteettiin. Palosuojauksessa tiilimuurausta käytetään lähinnä pilareita suojaamaan. Betonin tavoin tiili on myös raskasta, jolloin kiinnitykseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Parhaiten suojaukseen soveltuvat kevyet ja huokoiset tiililaadut, esimerkiksi reikätiili. Jo puolen tiilen muurauksella saavutetaan palonkesto-aika R240 minuuttia. Kuvassa 3 on esitetty puolen tiilen muuraus rakenneputken ympärillä. [12;13.]



Kuva 3 Rakenneputken (120x120x5) puolen tiilen muuraus.

3.5.3 Puu

Puuta voidaan käyttää palosuojauksessa, kun suojausvaatimus on korkeintaan R60 minuuttia ja palosuojamateriaali saa olla palavaa materiaalia. Puun hiiltymisnopeus on 0,7 millimetriä minuutissa, josta voidaan suoraan määrittää teräsrakenteen suojaamiseen tarvittavan puukerroksen paksuus. [12;13.]

3.5.4 Vesi

Palosuojausmenetelmä, jossa teräsputkiprofiilit täytetään vedellä, perustuu energiata-sapainoon. Osa palon lämpöenergiasta kuluu veden lämmittämiseen ja sen höyrystämiseen, joka hidastaa teräsrakenteen lämpötilan nousua. Lämpö saadaan tasoittumaan tehokkaasti asentamalla putkiprofiiliin sisäinen putkiverkosto, jonka avulla vesi

kiertää painovoimaan perustuen. Veteen perustuva palosuojausmenetelmä sopii pilari- ja ristikkorakenteille eikä se muuta teräsrakenteen ulkonäköä tai muotoa. [12;15.]

Vettä voidaan myös ruiskuttaa teräsosan pinnalle viilentämään sitä. Vettä ruiskuttamalla saadaan laskettua palotilan lämpötilaa teräsrakenteen ympärillä. Teräspinnalle muodostuu myös vesikalvo, joka estää teräsosaa kuumentumasta. Palonsammutusjärjestelmänä käytetään automatisoituja veden ruiskuttimia, sprinklereitä, jotka käynnistyvät lämpötilan kohotessa tiettyyn pisteeseen. [12;15.]

3.5.5 Palosuojarappaukset

Palonsuojarappauksissa voidaan runkoaineena käyttää vermikuliittia tai perliittia ja sideaineena sementtiä, kalkkia, hiekkaa tai kipsiä. Tiheys on käytetyistä aineista riippuen 300–800 kg/m³. Rappauksen paksuus vaihtelee 10–40 millimetrin välillä ja se voidaan toteuttaa yhtenä tai useampana 10–15 millimetrin kerroksena. Rappaus voidaan toteuttaa joko suoraan teräksen pinnalle tai teräs voidaan koteloida teräslankaverkolla, johon rappaus ruiskutetaan. Kevyimmät rappaukset eivät kestä mekaanista rasitusta. Kestävyyttä voidaan kuitenkin parantaa esimerkiksi lasikuitukankaalla, kulmasuojauksin tai kovalla rappauspinnoitteella, joka suojaa samalla teräksen myös korroosiolta. [12;13.]

3.6 Palosuojausmenetelmien vertailua

Palosuojausmenetelmiä ei voida asettaa yleiseen paremmuusjärjestykseen, sillä menetelmä valitaan tapauskohtaisesti kohteen vaatimukset huomioon ottaen. Usein myös arkkitehtuuri rajoittaa palosuojausmenetelmän valintaa. Lisäksi joitakin menetelmiä, kuten palosuojaalevyjä on hankala käyttää esimerkiksi teräsrakenteiden liitos- ja liittymäkohtiin. Palosuojamaalit ja -ruiskutteet sopivat paremmin tällaisiin kohtiin. Menetelmiä on vertailtu ominaisuuksien, palonkestoajan ja rasitusluokan perusteella taulukossa 5.

Taulukko 5 Palosuojausmenetelmien vertailua

Palosuojamateriaali	Tiheys [kg/m ³]	Paksuus [mm]	Palonkesto- aika	Mekaanisen rasituksen kesto	Rasitusluokka/ käyttöluokka	Esikäsittelyn tarve	Kerrosten lukumäärä	Palo-omi- naisuudet
Palosuojaamaali	1300-1400	0,2-5	R180	huono	C1-C5M/C5MI	kyllä	1-useita	B-s2, d0-F
Kalsiumsilikaattilevy	250-950	6-65	R240	huono	Z ₂	ei	1	A1
Kipsilevy	770-980	13-60	R120	huono	Z ₂	ei	1-4	A1
Mineraalivillalevy	100-400	10-120	R240	huono	Y	ei	1-2	A1
Mineraalikuituruiskutus	220-500	10-80	R240	huono	Y	kyllä	1	A1
Vermikuliittiruiskutua	300-800	10-60	R240	huono	Y	kyllä	1-4	A1

ETA-dokumentissa käytetään ilmastorasitusluokkien sijasta käyttöluokkia Z₂, Z₁, Y ja X. Z₂-luokka käsittää sisätilat, jossa ilman suhteellinen kosteus on alle 85 % pois lukien tilat, joissa lämpötila on alle 0 °C. Z₁-luokka käsittää sisätilat, jossa ilman suhteellinen kosteus suurempi kuin 85 %, pois lukien tilat joissa lämpötila alle 0 °C. Y-luokka sisältää sisätilat ja puoliavoimet tilat, joiden lämpötila on alle 0 °C, mutta jotka eivät altistu sateelle ja ovat rajoitetusti alttiita UV-säteilylle. X-luokka käsittää sisätilat, puoliavoimet tilat ja avoimet tilat. [22.]

Parhaita lämmöneristeitä ovat mineraalivilla, vermikuliitti ja perliitti, mutta ne vaativat suojauksen mekaanista rasitusta vastaan. Myös palosuojaruiskutteet ja -maalit on suojattava mekaanista rasitusta vastaan. Palosuojaamaalien palonkesto-aika on suhteellisen lyhyt ja lisäksi paisumisreaktio voi olla puutteellinen hitaasti kehittyvässä tulipalossa. Etuna on kuitenkin ohut suojaepäksyys ja teräsprofiilin muodon säilyminen. Palosuoja-maalaus soveltuu myös saneerauskohteisiin ja liittopilarien lisäsuojaamiseen. Palosuojaamaalit sopivat käytettäväksi kaikkiin ilmastorasitusluokkiin, jolloin niitä voidaan käyttää kaikissa kohteissa. [12.]

Kipsi, erilaiset rappaukset ja vesi sitovat parhaiten lämpöä vesipitoisuutensa vuoksi. Palosuojarappaus toimii lisäksi myös teräksen korroosiosuojana. Vesitäyttö sopii vain pilareiden palosuojaukseen. Menetelmällä on kuitenkin useita hyviä puolia: vesitäyttö ei muuta pilareiden ulkonäköä ja se sopii myös ulkorakenteisiin. Menetelmän haittapuolia ovat veden jäätyminen ja teräsrakenteen korroosionkeston aleneminen. Betonin ja tiilen käyttö palosuojauksessa on vähentynyt, sillä betonilla ja tiilellä suojatut rakenteet

ovat raskaita ja hitaita asentaa. Lisäksi betoni ja tiili muuttavat teräsrakenteen muotoa lukuun ottamatta betonitäytteistä putkipilaria. [12;13;15.]

4 Rakenteiden palomitoitus

Palomitoituksella varmistetaan, että rakenne kestää vaaditun palonkestoajan joko suojaamattomana tai palosuojamateriaalilla suojattuna. Rakennuksen palomitoitus voidaan toteuttaa joko määräyksiin perustuvien säännöin tai toiminnallisen palomitoituksen avulla. Palomitoitusten vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa kolmella eri tavalla, joita ovat rakenneosan tarkastelu, rakenteen osien tarkastelu ja kokonaistarkastelu. Menetelminä voidaan käyttää taulukkomitoitusta, yksinkertaistettuja laskentamenetelmiä, kehittyneitä laskentamenetelmiä, toiminnallista palomitoitusta ja erilaisia kokeita. Taulukkoon 6 on koottu eri palonkestävyysmalleja. [12;14;16;23.]

Taulukko 6 Palonkestävyysmallit [24].

Rakenteiden palomitoituksen menettelytapa		Taulukkomitoitus	Yksinkertaiset laskentamallit	Kehittyneet laskentamallit
Määräyksiin perustuvat säännöt	Rakenneosan tarkastelu	Kyllä	Kyllä	Kyllä
	Rakenteen osan tarkastelu	Ei	Kyllä (jos saatavilla)	Kyllä
	Kokonaistarkastelu	Ei	Ei	Kyllä
Oletettuun paloon perustuva lähestymistapa	Rakenneosan tarkastelu	Ei	Kyllä (jos saatavilla)	Kyllä
	Rakenteen osan tarkastelu	Ei	Ei	Kyllä
	Kokonaistarkastelu	Ei	Ei	Kyllä

4.1 Menetelmät

4.1.1 Yksinkertaiset laskentamallit

Yksinkertaiset laskentamallit soveltuvat yksittäisten rakenneosien mitoittamiseen. Yksinkertaistuksien vuoksi menetelmä perustuu varmalla puolella oleviin oletuksiin. Käytettyjä yksinkertaistuksia ovat esimerkiksi tasan jakautuneen lämpötilan käyttö koko

poikkileikkaukselle ja nettopoikkileikkauksen murtumista laskettaessa kiinnittimien reikien jättäminen huomiotta. Yksinkertaisiin laskentamenetelmiin perustuvia ohjelmia ovat esimerkiksi Comcol, Combeam, Comslab, ja WinRami. Mitoitus voi perustua joko taulukkomitoitukseen tai teräksen kestävyuden tarkasteluun. Taulukkomitoituksessa rakenteen palosuojaus valitaan taulukosta ottaen huomioon vaadittu palonkesto-aika, teräsrakenteen poikkileikkaustekijä ja mitoituslämpötila. [14;16;24.]

4.1.2 Kehittyneet laskentamallit

Kehittyneitä laskentamenetelmiä voidaan käyttää mille tahansa palokäyrälle, kun palosuoja-aineen ominaisuudet tiedetään tarkasteltavalla lämpötila-alueella. Laskentamenetelmä sopii kaiken tyyppisille poikkileikkauksille. Kehittyneet laskentamallit voidaan jakaa edelleen vyöhykemalleihin ja kenttämalleihin. [16;25;26.]

Vyöhykemalli on kehittyneistä laskentamalleista yksinkertaisempi. Se ottaa kuitenkin huomioon kaikki tärkeimmät paloon vaikuttavat tekijät. Vyöhykemallinnus voidaan tehdä useilla eri ohjelmilla, kuten esimerkiksi Ozone:lla. Vyöhykemallit voidaan jakaa yksija kaksivyöhykemalleihin. Yksivyöhykemallissa lämpötilan oletetaan olevan sama koko palotilassa, kun taas kaksivyöhykemallissa ajatellaan olevan kaksi eri lämpöistä vyöhykettä, joista alemman lämpötila on viileämpi. Geometrisesti monimutkaiset kohteet mallinnetaan kenttämallin avulla. Kenttämalleihin kuuluu esimerkiksi numeerinen virtausmallinnus eli CFD, joka voidaan tehdä esimerkiksi Fluent-ohjelmalla. [24;25;26.]

4.1.3 Kokeet

Palomitoituksessa voidaan käyttää kokeiden ja laskelmien yhdistelmää. Kokeita käytetään silloin, jos oikeanlaista laskentamallia ei ole saatavilla tai jos käytetään paljon samanlaisia rakenneosia. Kokeita voidaan käyttää myös varmistamaan laskentamenetelmien paikkaansa pitävyyttä. Koetuloksia tulkittaessa tulee ottaa huomioon pieni otanta, joka vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. [27.]

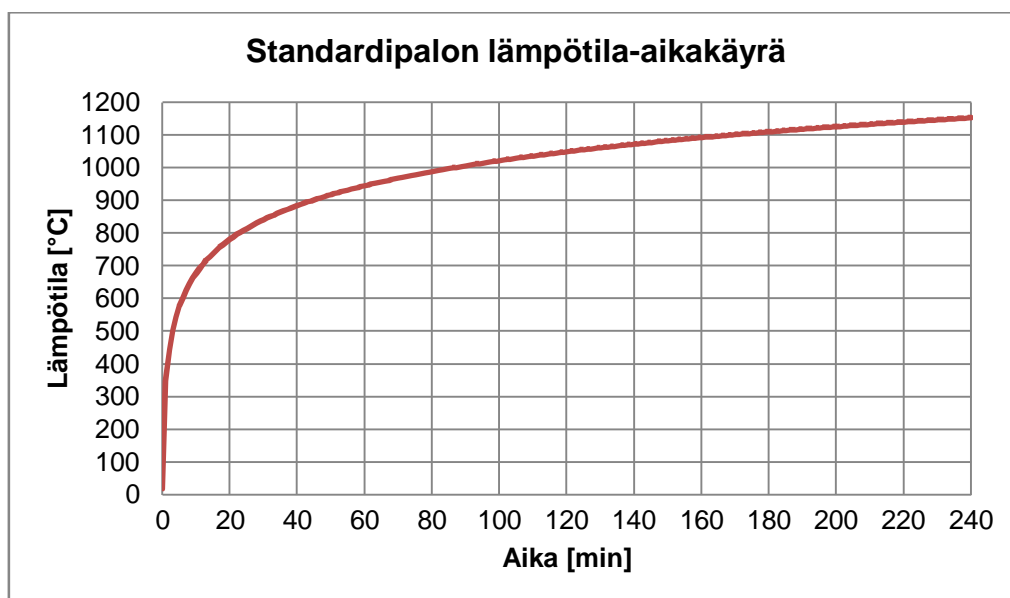
4.2 Mitoituspalot

Palomitoitus voidaan suorittaa käyttämällä joko erilaisia mitoituspaloja tai toiminnallisen palomitoituksen avulla. Erilaisia mitoituspaloja ovat standardipalo, ulkopuolinen palo,

hiilivetypalo ja parametrinen palo. Mitoituspalon valinnalla on yleensä vaikutusta vasta, kun vaadittu palonkesto-aika on yli 60 minuuttia. [14.]

4.2.1 Standardipalo

Standardipalo eli selluloosapalo olettaa, että lämpötila nousee aluksi nopeasti, jonka jälkeen lämpötilan nousu jatkuu tasaisesti. Palomalli ei ota huomioon palotilan ominaisuuksia, kuten geometriaa, hapen määrää, kaikkia palon vaiheita eikä palokuormaa. Taulukkomitoitus ja yksinkertaiset menetelmät perustuvat yleensä standardipaloon. Standardipalon lämpötila-aikakäyrän yhtälö saadaan testistandardista EN 1363-1. Yhtälöstä saatu lämpötila-aikakäyrä on esitetty kuvassa 5. [14;25;28.]



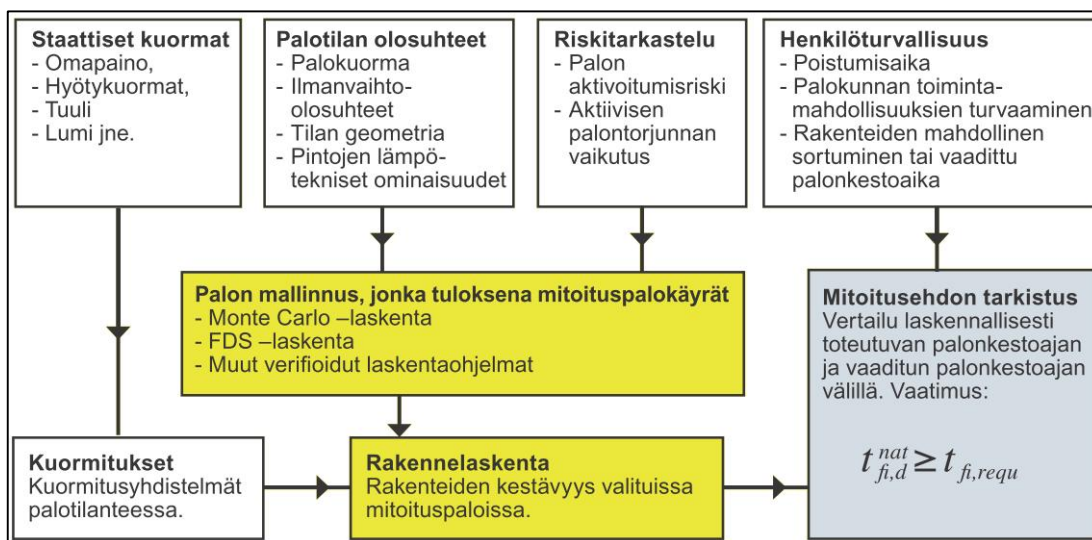
Kuva 4 Standardipalon lämpötila-aikakäyrä

4.2.2 Parametrinen palo

Parametrinen palomalli voidaan käyttää, kun palotilan lattiapinta-ala on enintään 500 m², katossa ei ole aukkoja ja korkeus on alle 4 metriä. Parametrisessa palossa palokuorman oletetaan palavan kokonaan. Standardipalomalliin verrattuna parametrinen palomalli ottaa huomioon enemmän palotilan ominaisuuksia: palokuorman suuruuden, palotilan aukkojen koon ja määrän sekä palotilaa ympäröivien rakenteiden eristysominaisuudet. [14;26.]

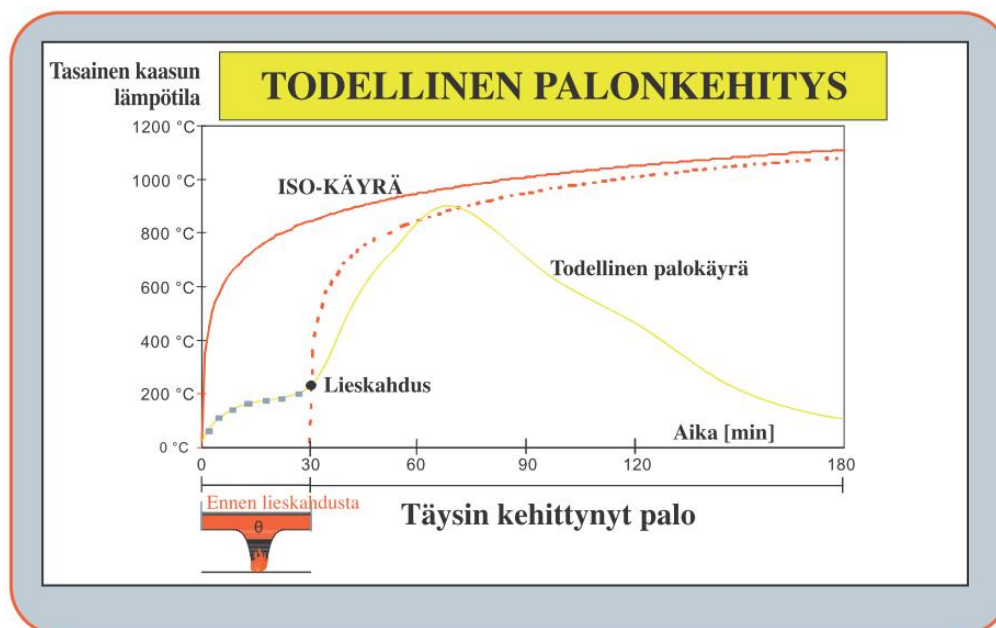
4.2.3 Toiminnallinen palomitoitus

Toiminnallinen palomitoitus perustuu todelliseen palonkehitykseen. Se on hyväksytty menetelmä sekä rakentamismääräyskokoelmassa että eurokoodimitoituksessa. Arvioitaessa vaatimusten täyttymistä otetaan huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käyttö. Mitoituksen kulku on esitetty kuvassa 5. Toiminnallisessa palomitoituksessa myös vaadittu palonkesto-aika $t_{fi,requ}$ määritetään toiminnallisesti. [14;25.]



Kuva 5 Kaaviomalli toiminnallisen palomitoituksen kulusta [25].

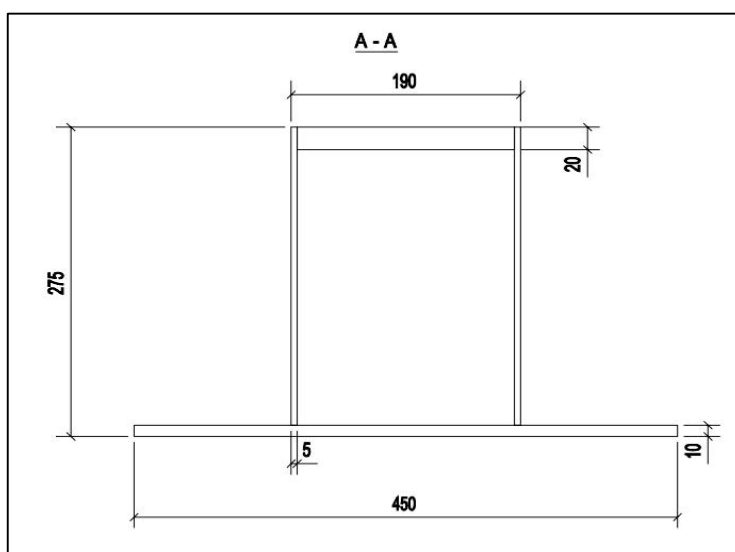
Toiminnallisen palomitoituksen tavoitteena on määrittää kohdekohtaisesti todenmukaisempia arvoja paloturvallisuuteen vaikuttaville tekijöille. Menetelmällä voidaan ottaa huomioon useita eri tekijöitä, kuten rakennuksen tilojen erilaiset ominaisuudet, rakennuksen yksilölliset piirteet sekä käytetyt passiiviset ja aktiiviset palosuojausmenetelmät. Ensimmäiseksi pyritään varmistamaan rakennuksessa olevien henkilöiden ja pelastushenkilökunnan turvallisuus, toissijaisena pyritään vähentämään taloudellisia, aineellisia ja rakenteellisia vahinkoja. Rakennukset on pitkään mitoitettu tilastollisiin todennäköisyyksiin perustuvilla kuormituksilla. Menetelmä antaa mahdollisuuden määrittää palokuorman ja mitoituspalokäyrän samantyyppisenä tilastollisena jakaumana, joka perustuu tuhansiin satunnaisotoksiin. Toiminnallinen palomitoitus kehittyy koko ajan laskentaohjelmistojen kehittyessä ja tutkimustiedon lisääntyessä. Todellisen palon eri vaiheet ja vertailu standardipalokäyrään on esitetty kuvassa 6. [14;16;25.]



Kuva 6 Todellisen palon vaiheet ja vertailu standardipalokäyrään [25].

5 Kustannusvertailu

WQ-palkin mitat on esitetty kuvassa 7. Insinööriyössä on tutkittu neljältä sivulta suojattua pilaria, kolmelta sivulta suojattua palkkia ja WQ-palkin alalaipan suojausta. Kustannusvertailu on tehty seuraaville teräsprofiileille: HEA 360, rakenneputki 200x200x5 ja WQ-palkki.




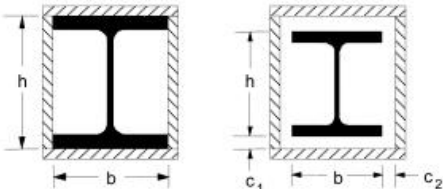
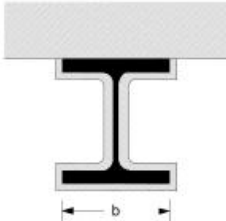
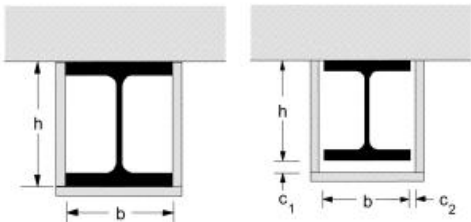
Kuva 7 WQ-palkin mittatiedot

ETA-hyväksytyjä tuotteita löytyi odotettua enemmän. Läheskään kaikki kyseisiä tuotteita valmistavat yritykset eivät halunneet luovuttaa ETA-dokumenttiaan, joka sisältää kustannusvertailun kannalta olennaista informaatiota kuten esimerkiksi tarvittavan materiaalipaksuuden eri paloluokissa. Lisäksi osalla yrityksistä ei ollut antaa listahintoja materiaalilleen, sillä hinnat vaihtelevat tapauskohtaisesti riippuen esimerkiksi maan hintatasosta, ostettavasta määrästä ja mahdollisesta sopimuksesta. Kustannusvertailu on suoritettu siksi vain seuraaville ETA-hyväksytyille tuotteille:

- palosuojamaalit
 - Sika Unitherm Steel S
 - Nullifire S707-60
 - Nullifire S707-120
 - Novatherm 4FRe
 - HCA WL Steel
 - Aithon
- palosuojaaruiskutteet
 - Promaspray F250
 - Promaspray P300
 - Cafco Mandolite CP2
- Palosuojalevyt
 - Paroc FireSAFE system. [8;29.]

Kustannusvertailussa mukana olevien materiaalien ominaisuuksia on vertailtu liitteessä 2. Palosuojausmenetelmien kustannuksia vertaillessa tulee ottaa huomioon hankinta- ja asennuskustannusten lisäksi myös huoltokustannukset. Palosuojauksen hintaan vaikuttavat muun muassa palosuojamateriaali, vaadittu paloluokka, profiilikoko ja teräs-rakenteen kriittinen lämpötila. Kustannusvertailussa on huomioitu työmenekki, työn hinta, materiaalin hinta, materiaalimenekki, materiaalihukka, poikkileikkaustekijä, profiilin pinta-ala ja kerrosten lukumäärä. Palosuojamaalien osalta on huomioitu lisäksi pinnan esikäsitteily ja pohjamaali. Poikkileikkaustekijä on saatu kuvan 8 mukaisesti laske-malla tai suoraan valmistajien taulukoista. Profiilin piiri, poikkileikkauksen pinta-ala se-kä ulkopuolinen pinta-ala ovat suoraan valmistajien taulukoista. [14]

Palomitoitusta toteutettaessa kannattaa miettiä, millä keinoilla päästään taloudellisimpaan lopputulokseen. Huomioitavia tekijöitä ovat rakenteelliset keinot, materiaalin optimointi, palosuojamateriaalin käyttö ja mitoituspalon valinta. Kustannusvertailu on tehty pelkästään standardipalolle soveltuvalla taulukkomitoituksella.

Kaavio	Kuvaus	Poikkileikkaustekijä (A_p / V)
	Vakiopaksuinen suojaus profiilin pinnalla	Profiilin piiri profiilin poikkileikkauksen pinta-ala
	Kotelomainen suojaus, jonka paksuus on vakio ¹⁾	$2(b + h)$ profiilin poikkileikkauksen pinta-ala
	Vakiopaksuinen suojaus profiilin pinnassa, paloaltistus kolmelta sivulta	Profiilin piiri - b profiilin poikkileikkauksen pinta-ala
	Kotelomainen suojaus, jonka paksuus on vakio, paloaltistus kolmelta sivulta ¹⁾	$2h + b$ profiilin poikkileikkauksen pinta-ala

¹⁾ Mitat c_1 ja c_2 eivät yleensä saa ylittää arvoa $h/4$.

Kuva 8 Palosuoja-aineella eristettyjen terässauvojen poikkileikkaustekijä [16].

5.1 Hankintakustannukset

Hankintakustannukset muodostuvat palosuojamateriaalin kustannuksista ja mahdollisista lisämateriaaleista, joita ovat pinnoitteet, teräsverkot, hitsitapit, ruuvit, pudistusaineet, kulmalistat ja vahvikekankaat. Materiaalihinnat ovat peräisin valmistajilta tai maahantuojilta eivätkä sisällä arvonlisäveroa. Materiaalimenekki on laskettu vaaditun mate-

riaalipaksuuden ja teräsprofiilin ulkopuolisen pinta-alan mukaan. Vaadittu materiaali-paksuus puolestaan on saatu suoraan materiaali-kohtaisesta ETA-dokumentista.

5.1.1 Palosuojamaalit

Palosuojamaalauksen hankintakustannuksiin vaikuttavat sekä kohteen ilmastorasitus-luokka että maalin lämpö- ja mekaanisen rasituksen kesto, jotka vaikuttavat valittavaan maalausjärjestelmään. Nämä tekijät vaikuttavat siihen, millaista pohja- ja pintamaalia tarvitaan. Palojuojamaalien hinnat ovat 7-15 euroa kilogrammalta. Hinnat vaihtelevat kuitenkin suuresti riippuen tilatusta määrästä. Maalin materiaalikustannuksiin vaikutta-vat tarvittava kuivakalvopaksuus ja kuiva-ainepitoisuus, jotka määräävät maalin koko-naismenekin. Sen vuoksi maalien litrahinnan vertailu ei riitä. Materiaalihukka vertailta-vissa profiileissa on keskimäärin 35 % sekä avo- että putkiprofiilissa. [30.]

Palosuojamaalien hankintakustannukset muodostavat karkeasti ottaen 2/3 kokonais-hinnasta. Hankintakustannukset vaihtelevat merkeittäin ja hintaero voi olla monin ker-tainen. Alhaisissa paloluokissa, kuten luokissa R30, palosuojamaalien hankintakustan-nukset ovat samaa luokkaa muiden menetelmien kanssa. Kustannukset nousevat kui-tenkin nopeasti paloluokkavaatimuksen noustessa. Sen vuoksi esimerkiksi rakenteiden palosuojaus paloluokkaan R120 toteutetaan yleensä muilla menetelmillä. [31.]

5.1.2 Palosuojaruiskutteet ja -levyt

Ruiskutteiden osalta hankintakustannus muodostuu ruiskutemateriaalista ja tarvittaes-sa käytettävästä pintamaalista. Ruiskutemateriaalin hinnat ovat vertailtavien tuotteiden osalta 2,05–2,4 euroa kilogrammalta. Materiaalihukka tarkasteltavien ruiskutteiden osalta on noin 25 % sekä avo- että putkiprofiilissa. Ruiskutteen materiaalikustannuksiin vaikuttavat tarvittava kalvopaksuus ja kuiva-ainepitoisuus, jotka määräävät ruiskutteen kokonaismenekin. Ruiskutteiden hankintakustannukset muodostavat puolet kokonais-kustannuksista. Ruiskutemateriaalin hinnat ovat yleisesti ottaen vertailun alhaisimpia kaikissa paloluokissa mineraalivillalevyjen (Parocin FireSafe-järjestelmän) ohella. Pak-summilla kerroksilla voidaan käyttää lisäksi erillistä verkkoa kiinnityksen varmistami-seksi. [32].

Palosuojalevyistä kustannusvertailussa oli mukana vain Parocin FireSafe-järjestelmä. Palosuojavillan hinnat riippuvat levypaksuudesta (20–50 millimetriä) ja ovat 13,55–24,8 euroa neliömetriltä. Lisäksi 50 millimetriä paksu lasikuituhuovalla pinnoitettu levy maksaa 28 euroa neliömetriltä. Materiaalihukka palosuojalevyissä on noin 20 % sekä tarkasteltavassa avo- että putkiprofiilissa. Materiaalimenekki on saatu laskemalla kotelo-maiseen suojaukseen vaadittu pinta-ala. Levyjen hankintakustannukset muodostavat noin kaksi kolmasosaa kokonaishinnasta. [30.]

Hankintakustannuksiin vaikuttaa villan lisäksi valittu kiinnityssysteemi. Villa voidaan joko kiinnittää suoraan teräsprofiilin pintaan hitsipiikkien avulla tai levyt voidaan kiinnittää yhteen Parocin Firespring-ruuvein. Pääsääntöisesti kiinnityksessä käytetään hitsipiikkejä, mutta ulkotiloihin parempi valinta korroosion kannalta on ruuvikiinnitys. Kustannusvertailulaskelmissa on huomioitu vain hitsipiikkimenetelmä. I-profiileille, joiden korkeus on suurempi kuin 450 millimetriä, levyt tulee asentaa pintaa myötäillen. Tällöin materiaalia kuluu enemmän, joka nostaa kustannuksia. [33;34.]

5.2 Asennuskustannukset

Asennuskustannukset muodostuvat työtunnin hinnasta ja työtunnin määrästä. Työtunnin hintaan vaikuttavat monet tekijät, esimerkiksi työntekijän pätevyys ja maa, jossa työ suoritetaan. Sen vuoksi olen käyttänyt työssäni työtunnin hintana vakioarvoa 30 euroa tunnilta. Eri maiden keskimääräisiä teollisuusalan työtunnin hintoja on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7 Työtunnin hinta työnantajalle, sisältää bruttoansion ja palkan sivukulut [36].

Maa	Teollisuus, euroa
Ruotsi	43,8
Tanska	37,9
Suomi	33,8
Saksa	35,2
Iso-Britannia	22,7
Portugali	10,5
Viro	8,1
Puola	6,6
Bulgaria	2,9
EU-keskiarvo	24

Asennuskustannuksissa on otettu huomioon asennukseen tarvittavien työtuntien määrän. Tarvittavat työtunnit on laskettu RATU-kortin 65–0306 mukaan. Työn hinta on laskettu taulukon 8 mukaisesti eri palosuojausmenetelmille. Suoritemääräkertoimen arvona on käytetty arvoa, joka vastaa 300 neliömetrin työsuoritusta.

Taulukko 8 Palosuojaustöiden hinnan muodostuminen [30].

Palosuojamaalaus				Palosuojaaruiskute			
Työmenekit	palosuoja- maali < 1mm	palosuoja- maali 1mm	pintamaali	Työmenekit	paksuus < 18 mm	paksuus 18...25 mm	paksuus > 25
Aloittavat työt	0,02	0,02	0,02	Aloittavat työt	0,02	0,02	0,02
Ympäristön suojaus	0,04	0,04	0,04	Ympäristön suojaus	0,04	0,04	0,04
Maalaus	0,2	0,27	0,2	Ruiskutus	0,24	0,38	0,45
Lopettavat työt	0,02	0,02	0,02	Lopettavat työt	0,02	0,02	0,02
Suoritemäärän vaikutus kerroin	0,95	0,95	0,95	Suoritemäärän vaikutus kerroin	1	1	1
Yhteensä [tth/m2]	0,266	0,3325	0,266	Yhteensä [tth/m2]	0,32	0,46	0,53
Työntekijän palkka [€/h]	30	30	30	Työntekijän palkka [€/h]	30	30	30
Työn hinta [€/m2]	7,98	9,975	7,98	Työn hinta [€/m2]	9,6	13,8	15,9
Mineraalivilla sis. kiinnikkeet							
Työmenekit	leikkausleveys < 200 mm	leikkausleveys > 200 mm	tasainen pinta				
Aloittavat työt	0,02	0,02	0,02				
Ympäristön suojaus	0	0	0				
Levytys	0,33	0,22	0,17				
Lopettavat työt	0,02	0,02	0,02				
Suoritemäärän vaikutus kerroin	1,05	1,05	1,05				
Yhteensä [tth/m2]	0,3885	0,273	0,2205				
Työntekijän palkka [€/h]	30	30	30				
Työn hinta [€/m2]	11,655	8,19	6,615				

5.2.1 Palosuojamaalit

Palosuojamaalien asennuskustannukset ovat noin kolmasosa kokonaiskustannuksista. Palosuojamaalauksen työmenekkiin vaikuttavat pinnan esikäsitteilyaste (yleensä SA 2½), sekä tarvittavan pohja- ja palosuojamaalin kuivakalvon paksuus. Vaativammissa olosuhteissa tarvitaan lisäksi pintamaali, joka lisää asennuskustannuksia. Palosuojamaalin asennuskustannuksiin vaikuttaa myös se, suoritetaanko maalaus maalaamossa vai vasta työmaalla. Työteho on korkeampi maalatessa optimaalisissa olosuhteissa maalaamossa. [31.]

Isoja kuivakalvon paksuuksia maalatessa työteho on alhainen, sillä kerralla palosuojamaalia voi levittää noin 700 mikrometriä, jonka jälkeen pinnan täytyy kuivua noin 7–8 tuntia. Levitettävien kerrosten lukumäärä on laskettu kuivakalvon kokonaispaksuuden ja kerralla levitettävän maalikerroksen paksuuden perusteella. Kuivumisaika riippuu monista tekijöistä kuten maalista, maalikerroksen paksuudesta, ilman suhteellisesta kosteudesta, lämpötilasta ja ilmanvaihdosta. Esimerkiksi 3500 mikrometrin kuivakalvon paksuus vaatii noin yhden työviikon läpimenoajan, jos oletetaan, että kerran päivässä voi levittää yhden maalikerroksen. Ennen mahdollisen pintamaalin levitystä palosuojamaalin on kuivuttava vielä kauemmin. Asennuskustannuksiin vaikuttaa myös valittu maalin levitysmenetelmä. Korkeapaineruiskutuksella voidaan toteuttaa suurimmat kalvopaksuudet, jopa noin 700 mikrometrin kuivakalvon paksuus yhdellä levityksellä riippuen palosuojamaalista. Tela- ja pensselimaalauksella päästään vain noin 500 mikrometrin kuivakalvon paksuuksiin. [31;36.]

Palosuojamaalaukseen lisäkustannuksia tuovat valitun maalausjärjestelmän muut osat: esikäsitteily, pohja- ja pintamaali. Vertailun vuoksi on laskelmissa otettu huomioon vain vähimmäisvaatimuksen eli esikäsitteilyn ja pohjamaalin. Laskelmissa on käytetty arvoa 7 euroa neliömetriltä, joka sisältää esikäsitteilyn luokkaan SA2,5 ja 80 mikrometrin alkydi-pohjamaalauksen hankintakustannukset mukaan lukien. Esimerkiksi 80 mikrometrin akryyli-pintamaalaus hankinta- ja asennuskustannuksineen kustantaisi lisäksi 8–9 euroa neliömetriltä. [31.]

5.2.2 Palosuojaruiskutteet ja -levyt

Ruiskutteiden asennus tapahtuu työmaalla valmiin teräspinnan päälle. Ruiskutteiden asennuskustannukset ovat noin puolet kokonaiskustannuksista. Mineraalivillaruiskute

voidaan levittää kerralla haluttuun paksuuteen. Muita ruiskutteita voidaan kerralla ruiskuttaa noin 20–25 millimetrin paksuinen kerros, jonka jälkeen kerroksen annetaan kuivua 2–6 tuntia. Asennuskustannuksiin vaikuttaa kerrospaksuus ja etenkin kerrosten lukumäärä. Kuivumisaika riippuu samoista tekijöistä kuin palosuojamaaleilla. Ennen ruiskutteen levittämistä teräsprofiilin pinta voidaan tarvittaessa käsitellä pintamaalilla, joka lisää asennuskustannuksia. Laskelmissa ei ole otettu huomioon pintamaalia. [37.]

Palosuojalevyjen asennuskustannukset ovat noin kolmasosa kokonaiskustannuksista. Levyjen asentaminen ei vaadi pinnan esikäsitteilyä. Palosuojalevyjen asennuskustannuksiin vaikuttaa valittu kiinnitystapa. Vertailussa on mukana vain Parocin FireSafe-järjestelmän mineraalivillalevy, joka kiinnitetään pääasiassa hitsipiikein. Profiilin pinnan myötäileminen lisää materiaalikustannusten lisäksi työmenekkiä. [33;38.]

5.3 Huoltokustannukset

Huoltokustannuksia ei ole huomioitu laskelmissa millään tavalla. Palosuojamateriaaleja ei yleensä uusita rakenteen käyttöiän aikana. Huoltokustannukset muodostuvat lähinnä siis vaurioiden paikkaamisesta, jotka syntyvät yleensä heti asennusvaiheessa tai esimerkiksi törmäyksen seurauksesta. ETA-dokumenteissa on kerrottu tuotteen oletettavissa oleva kohtuullinen käyttöikä, joten tuotteita on mahdollista vertailla keskenään tämän tekijän osalta. Kohtuullinen käyttöikä on kuitenkin vain arvio tuotteen valitsemisen tueksi, eikä valmistajan antama takuu. [32.]

Palosuojamaalin elinikä on yleensä sama kuin teräsrakenteen. Palosuojamaalien odotettavissa oleva kohtuullinen käyttöikä on 10 vuotta. Usein maalaamossa palosuojamaalatut teräsprofiilit tarvitsevat huoltoa heti asennuksen jälkeen, koska palosuojamaalien mekaanisen rasituksen kesto on huono. Pintavaurioiden huoltokustannukset ovat noin 2 euroa neliömetriltä. [31;32;37.]

Palosuojaruiskutteille ja palosuojalevyille odotettavissa oleva kohtuullinen käyttöikä on 25 vuotta, joka on 2,5-kertainen verrattuna palosuojamaaliin. Parocin FireSafe-järjestelmän levyt ovat riippumattomia vaihtelevista lämpötila- ja kosteusolosuhteista, eivätkä siis tarvitse huoltoa, jolloin käyttöikä on yhtä pitkä kuin itse rakennuksella. Palosuojaruiskutteet eivät vaadi huoltoa, jos asennus suoritetaan ohjeiden mukaisesti. Kuten palosuojamaalit, myös ruiskutteet ja levyt ovat herkkiä mekaaniselle rasitukselle.

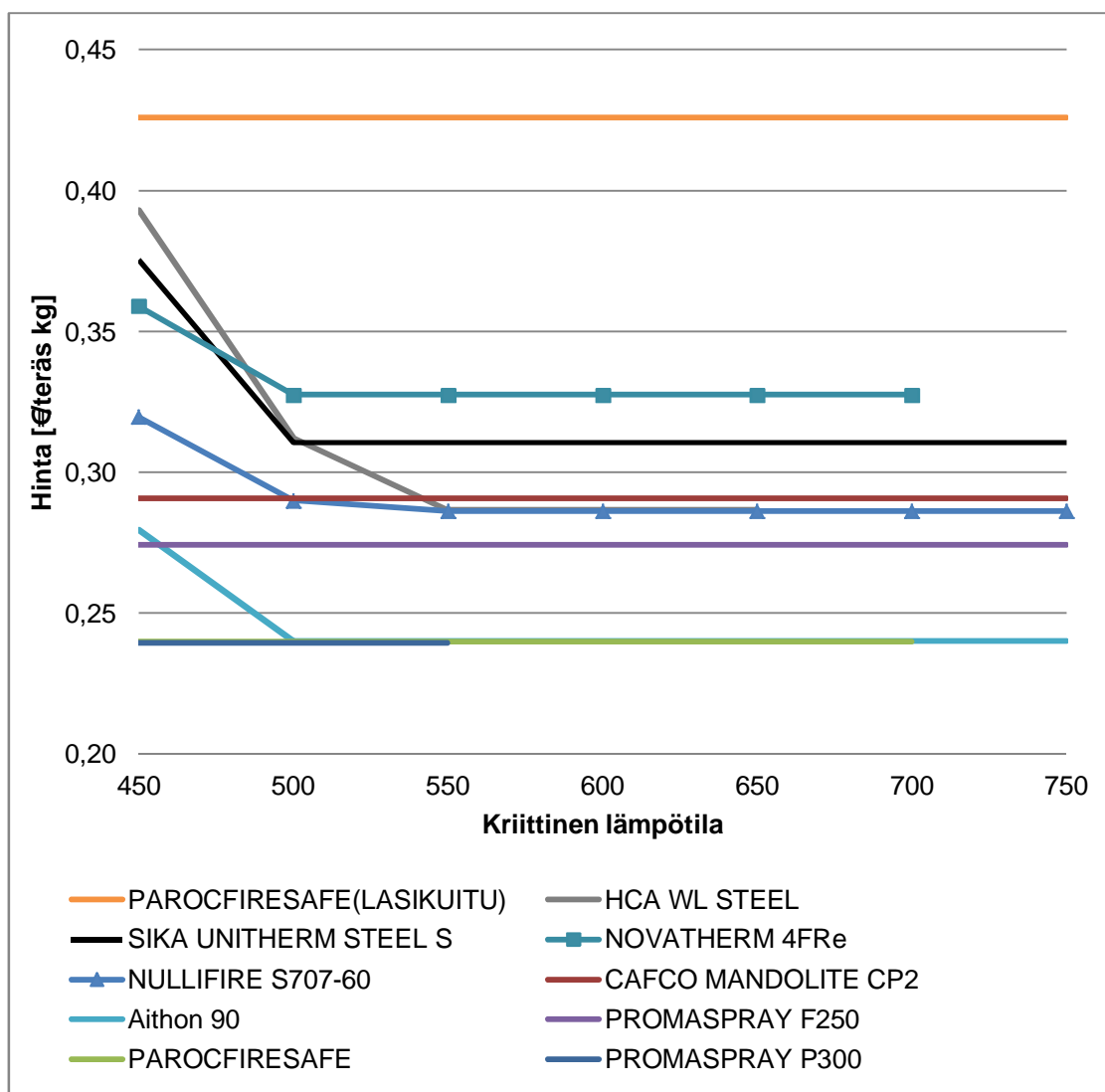
Ruiskutteiden pienet vauriot voidaan korjata erillisillä paikkauspakkauksilla. Paikkauspakkauksia myydään muun muassa 20 kilogramman paketeissa ja kilohinta on hieman kalliimpi, kuin normaalin ruiskutteen kilohinta. Vaurioitunut palosuojalevy voidaan taas helposti vaihtaa uuteen. Tällöin huoltokustannukset ovat yhtä suuret kuin uuden levyn materiaali- ja asennuskustannukset. [32;33;34;39.]

5.4 Tulokset

Tulokset on esitetty liitteissä 3 ja 4. Liitteessä 3 on esitetty vertailuna eri palosuojamateriaalien hinnat teräskilogrammaa kohti vaaditun palonkestoajan mukaan. Liitteessä 4 on esitetty kustannusvertailu tyypillisimmillä kriittisen lämpötilan arvoilla, jotka ovat 550 °C ja 600 °C. Kriittisellä lämpötilalla tarkoitetaan korkeinta mahdollista lämpötilaa, jonka rakenne kestää sortumatta. Kriittinen lämpötila riippuu siis teräsrakenteen kuormituksesta. Lisäksi Pöyrylle jäävässä versiossa on esitetty tarkemmin hinnan muuttuminen palosuojamateriaaleittain eri kriittisen lämpötilan arvoilla. Sivutuotteena syntyi myös Excel-ohjelma, jolla voidaan jatkossa suorittaa kustannusvertailua myös muille profiileille. [12.]

Koska ETA-hyväksyntä ei käsitä WQ-palkkeja, tehtiin kustannusvertailu niiden osalta soveltamalla ETA-dokumentista putkiprofiilille annettuja arvoja ja teräsrakennusryhdytyksen varmennettuja käyttöselostetta. Varmennettu käyttöselosteessa annetaan poikkileikkaustekijän laskentakaava ja mainitaan, että putkiprofiileille määritellyt mitoituskäyriä voidaan käyttää myös muille poikkileikkauksille, jolloin saadaan varmallalla puolella olevia tuloksia. WQ-palkin mitat valittiin tarkoituksella hoikaksi, jolloin poikkileikkaustekijän arvoksi saatiin 105. Näin kustannusvertailu pätee myös jyrkempiin WQ-palkkeihin. [40.]

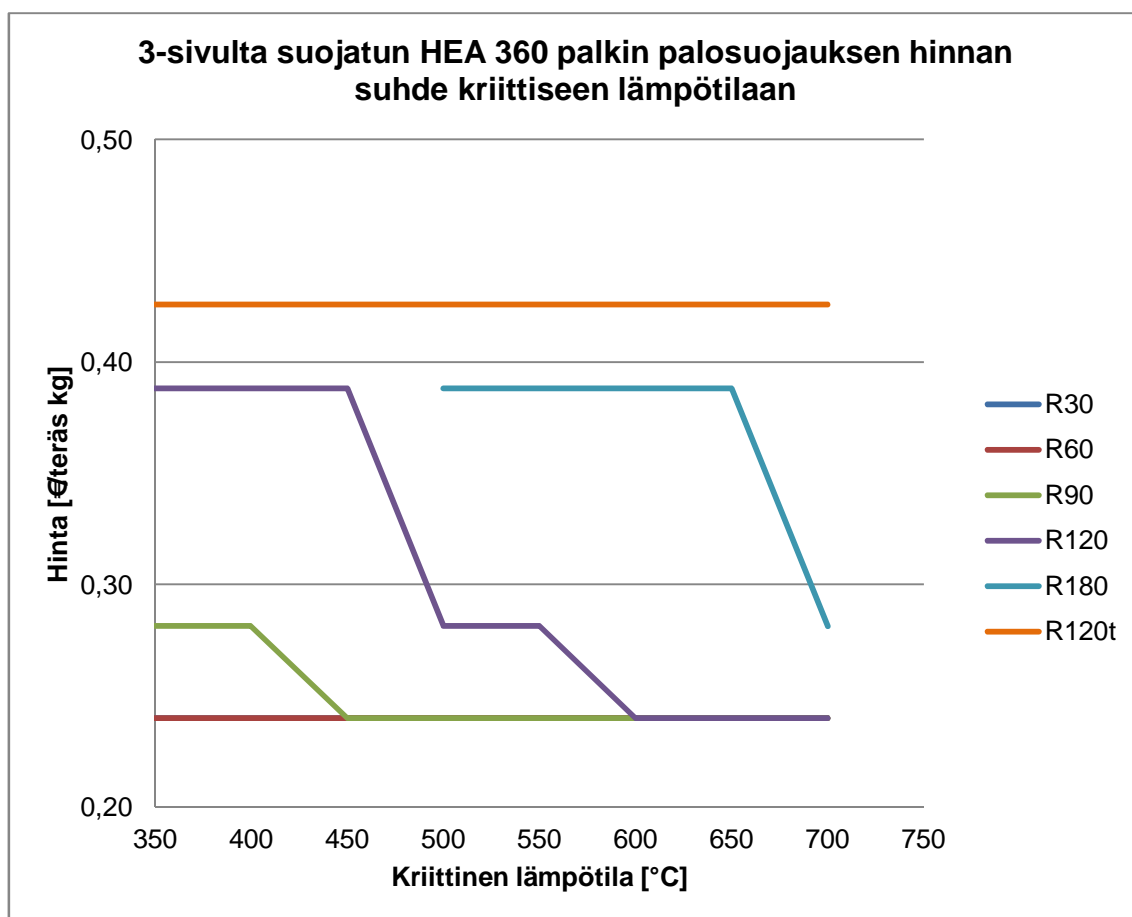
Kuvassa 9 on esitetty esimerkkivertailu eri palosuojamateriaalien kustannuksista euroina teräskilogrammaa kohden eri kriittisten lämpötilojen arvoilla. Tarkasteltavana on kolmelta sivulta suojattu HEA 360 palkki, jonka palonkestovaatimus on R30.



Kuva 9 Kolmelta sivulta suojattu HEA 360 palkki palonkestovaatimuksella R30

Diagrammeista on karsittu joitain Nullifire S707-120 -palosuojamaalin arvoja, sillä hinnat ovat nousseet muita materiaaleja selvästi suuremmiksi. Tällöin taulukon luettavuus on kärsinyt muiden materiaalien osalta. Arvot on kuitenkin esitetty arvotaulukoissa diagrammien yhteydessä. Sika Unitherm Steel S ja HCA WL Steel palosuojamaalit on jätetty putkiprofiilin ja WQ-palkin laskennasta pois, koska taulukkoarvoa ei ole annettu.

Vertailtavista tuotteista yleisesti ottaen halvimpia ovat palosuojaruiskutteen ja Parocin FireSafe-järjestelmän. Alhaisilla palonkestoajoilla myös palonsuojamaalit ovat erittäin kilpailukykyisiä. Tuloksista voidaan havaita, että tietyissä tapauksissa samalla materiaalipaksuudella voidaan saavuttaa useita paloluokkia. Kuvassa 10 on tällaisesta tilanteesta. Diagrammista voidaan havaita, että kriittisen lämpötilan arvolla 600 °C tai enemmän, Parocin FireSafe-järjestelmän alinta mahdollista materiaalipaksuutta käyttämällä saavutetaan jopa paloluokka R120.



Kuva 10 Esimerkki Parocin FireSafe-järjestelmän kustannusten muuttumisesta suhteessa kriittiseen lämpötilaan.

Palosuojamaalien osalta kustannusvaihtelu on suurinta ja kustannukset nousevat nopeasti rakenteen paloluokan kasvaessa. Suurin hintaero palosuojamaaleilla syntyy maalien kilohinnan, tarvittavan kuivakalvon paksuuden ja kerralla levitettävän kalvo-paksuuden vaihteluista. Maalien menekki on samoilla kuivakalvon paksuuksilla likimain yhtä suuri. Nullifiren S707-120 hinta on yleisesti muita palosuojamaaleja ja -materiaaleja kalliimpi, mutta samalla sillä päästään palosuojamaalien osalta parhaimpiin paloluokkiin yhdessä Aithon 90 ohella. Maalausjärjestelmän valinta vaikuttaa kuitenkin ratkaisevasti palosuojauksen kokonaishintaan eikä kaikkia vaihtoehtoja ole mahdollista ottaa huomioon.

Palosuojamaalien kuivakalvon paksuus pystytään tarkemmin optimoimaan suhteessa rakenteen paloluokkaan ja kriittiseen lämpötilaan. Ruiskutteiden osalta minimipaksuus taas on noin 10 millimetrin ja levyjen osalta 20 millimetrin luokkaa ja niitä käytetään useilla poikkileikkaustekijän arvoilla kriittisestä lämpötilasta riippuen. Näin voidaan joskus joutua käyttämään ”todellista” tarvetta paksumpaa suojausta, joka nostaa kustannuksia.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Insinööriyössä selvitettiin tällä hetkellä markkinoilla olevat ETA-hyväksytyt teräsraakenteiden palosuojaukseen sopivat materiaalit. Kymmenestä materiaaleista tehtiin kustannusvertailua huomioiden sekä hankinta- että materiaalikustannukset. Huoltokustannuksia ei huomioitu laskelmissa, sillä niitä syntyy lähinnä vain materiaaliin tulleista vaurioista. Kustannusvertailu tehtiin rakenteen eri paloluokille ja kriittisen lämpötilan arvoille käyttäen kolmea eri teräsprofiilia. Tulokset eivät ole suoraan verrannollisia muihin profiileihin, mutta niiden avulla voidaan karkeasti arvioida sopiva menetelmä eri paloluokan rakenteille. Insinööriyön tuloksena saatiin myös Excel-laskentaohjelma, joka mahdollistaa kustannusvertailun myös muille profiileille ja materiaaleille. Kustannusvertailun tulokset pätevät ainoastaan standardipalolle.

Kustannusvertailun tekeminen oli haastavaa, sillä kustannukseen vaikuttavat useat tekijät eikä materiaalivalmistajilla ole välttämättä tuotteista listahintoja tai hinnat vaihtelevat suuresti riippuen tilatusta määrästä. Sen vuoksi tarkkojen kustannushintojen laskeminen on lähes mahdotonta. Lisäksi suurin osa ETA-dokumenteista ei ole julkisia tai saatavilla edes pyydettyäessä, sillä yritykset haluavat materiaalin ohella tarjota myös palosuojauksen suunnittelun. Kustannusvertailussa huomioitiin vain ne materiaalit, joista oli saatavilla sekä ETA-dokumentti että materiaalin hintatiedot. Näin ollen löydettyistä 50 ETA-hyväksytystä materiaalista kustannusvertailu suoritettiin vain kymmenelle. Kustannusarvioita oli työlästä laskea, mutta niiden avulla rakennuttaja voi säästää huomattavasti rahaa.

Palosuojausmenetelmän valintaan vaikuttavat kustannuksen ohella monet tekijät, josta usein viime kädessä ratkaisevat ympäristöolosuhteet ja arkkitehtoniset seikat. Ennen lopullista profiilin ja palosuojamateriaalin valintaa tulee suorittaa useita laskutoimituksia teräsprofiilin ja palosuojamateriaalin optimoimiseksi. Palosuojamateriaaleista tarvittaisiin laajempi kustannusvertailu, joka kattaisi sekä useampia materiaaleja että teräsprofiileja. Laajempi kustannusvertailu voisi käsittää standardipalon lisäksi myös muita palomalleja, esimerkiksi hiilivetypalon. Insinööriyössä syntynyttä Excel-laskentaohjelmaa on mahdollista hyödyntää myös laajempaa kustannusvertailua suoritettaessa, edellyttäen, että tutkittavista materiaaleista on saatavilla tarvittavat lähtötiedot. Laskentaohjelma mahdollistaa kustannusvertailun eri maiden erihintaiset työtunnit.

Pääsääntöisesti voidaan sanoa, että alhaisissa paloluokissa kustannuserot ovat melko pieniä palosuojamateriaalista riippumatta. Tällöin valintaan vaikuttavat kohteen muut vaatimukset ja arkkitehtuuri. Suuremmissa paloluokissa palosuojamaalauksen kustannukset nousevat selvästi muita menetelmiä korkeammalle, kun taas palosuojaruiskut-
teiden ja -levyjen kustannukset kasvavat huomattavasti maltillisemmin. Kaikkein suurimmissa paloluokissa R180-R240 palosuojamaalien käyttö ei ole edes mahdollista.

Lähteet

- 1 Pöyry Oy:n kotisivut. 2013. <www.poyry.fi> Luettu 7.10.2013.
- 2 Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999
- 3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2013. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <[http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Suomen_rakentamismaarayskokoelma\(3624\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Suomen_rakentamismaarayskokoelma(3624))> Luettu 26.9.2013.
- 4 RT 20-11125. 2013. Rakennustuotteiden CE-merkintä ja muut tuotehyväksyntämenettelyt. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 5 Rakennustuoteasetus. 2011. PDF-dokumentti. Euroopan unionin virallinen lehti. <<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:EN:PDF>> Luettu 11.8.2013
- 6 Rakennusteollisuus RT. 2013. CE-merkittyjen rakennustuotteiden oikea käyttö. Helsinki: Rakennusmedia Oy.
- 7 CE-merkintä. 2013. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Rakennustuotteiden_tuotehyvaksynta/CEmerkinta> Luettu 13.9.2013.
- 8 ETA-hyväksytyt materiaalit. 2013. Hakukone. European Organisation for Technical Assessment (EOTA). <<http://oldwww.eota.eu/pages/valideta/?old=true>> Luettu 16.9.2013.
- 9 Teräsrakenneyhdistys ry. 2007. Teräsrakenteiden palosuojamaalaus 2007. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
- 10 ETAG 018-4. 2006. Fire protective products. Part 4: Fire protective board, slab and mat products and kits. European Organization for Technical Approvals EOTA.
- 11 CE-merkityt rakennustuotteet. 2013. Verkkodokumentti. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). <<http://tukes.fi/fi/Toimialat/Rakennustuotteet/>> Luettu 19.9.2013.
- 12 Iso-mustajärvi, Pertti – Inha, Timo. 1999. Kantavien teräsrakenteiden palosuojaus. Helsinki: Rakennustieto, s.51–60.
- 13 Sirilä, Risto. 1978. Teräsrakenteiden palotekninen mitoitus. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry, s.118–130.

- 14 Teräsrakenneyhdistys ry. 2010. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus eurocode 3 -oppikirja. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry, s.125–139.
- 15 Ongelin, Petri – Valkonen Ilkka. 2012. Rakenneputket EN 1993 -käsikirja 2012. Helsinki: Rautaruukki Oyj.
- 16 SFS-EN 1993-1-2: 2005. 2005. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteen palomitoitus. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- 17 Kapanen, Jaakko. 2013. Puhelinkeskustelu 27.9.2013.
- 18 Teräspintojen korroosiorasitustaulukot. 2013. Verkkodokumentti. Tikkurila. <http://www.tikkurila.fi/teollinen_maalaus/metalliteollisuus/korroosiorasitustaulukot/teraspinnat> Luettu 7.10.2013.
- 19 SFS-EN ISO 12944-2: 1998. 1998. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Suomenstandardisoimisliitto SFS.
- 20 Passiivinen palosuojaus. 2013. Verkkodokumentti. Scandi Supply. <http://www.scandisupply.com/Steel_Constructions.aspx?ID=233>. Luettu 10.10.2013.
- 21 SFS EN 1994-1-2. Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus
- 22 ETAG 018-3. 2006. Fire protective products. Part 3: Renderings and rendering kits intended for fire resisting applications. European Organization for Technical Approvals EOTA.
- 23 SFS-EN 1992-1-2: 2005. 2005. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- 24 Palosuojaus. 2013. Verkkodokumentti. Dissemination of Fire Safety Engineering Knowledge. <<http://www.difisek.eu/FI/Presentations/WP4-FI-Presentation.pdf>> Luettu 19.9.2013.
- 25 Kaitila, Olli. 2008. Rakenteiden toiminnallinen palomitoitus. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
- 26 SFS-EN 1991-1-2: 2003. 2003. Rakenteiden kuormat. Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- 27 SFS-EN 1990: 2006. 2006. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Suomen standardisoimisliitto SFS.

- 28 SFS-EN 1363-1: 2012. 2012. Fire resistance tests. part 1: general requirements. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- 29 Rehder, Jochen. 2013. Vientipäällikkö, Rudolf Hensel, Saksa. Sähköpostikeskustelu 20.9.2013.
- 30 RATU-kortti 65-0306. 2007. Palosuojaustyö.
- 31 Isoaho, Joel. 2013. Palosuojamaalarit Suomessa Oy, Lehtimäki. Sähköpostikeskustelu 27.9.2013.
- 32 European Technical Approval No. ETA-13/0379
- 33 European Technical Approval No. ETA-08/0093
- 34 Pieni suuri esite eristämisestä. 2013. Paroc.
<http://www.paroc.fi/~media/files/brochures/finland/big_small_brochure_about_installation_fi.ashx> Luettu 10.10.2013.
- 35 Vertailu paljastaa suomalainen työ ei olekaan saksalaista kalliimpaa. 2013. 3T.
<http://www.3t.fi/artikkeli/uutiset/talous/vertailu_paljastaa_suomalainen_työ_ei_olekaan_saksalaista_kalliimpaa> Luettu 7.10.2013.
- 36 Tremco-illbruck:n kotisivut. 2013. <www.tremco-illbruck.fi> Luettu 10.10.2013.
- 37 European Technical Approval No. ETA-10/0148
- 38 Virrantuomi, Tero. 2013. Tuotepäällikkö, Paroc Oy, Helsinki. Sähköpostikeskustelu 7.10.2013.
- 39 Meyenburg, Claus. 2013. Tekninen tuki, Promat, Tanska. Sähköpostikeskustelu 8.10.2013.
- 40 Varmennettu käyttöseloste TRY-110-2011. Nullifire S707-60-palosuojamaali putki- ja I-profiilien sekä WQ-palkin alalaipan palosuojaukseen.

Kantavien rakenteiden luokkavaatimukset [33].

Rakennuksen paloluokka							
Sarake	P1			P2			P3
	Palokuorma MJ/m ²			Palokuorma MJ/m ²			
	yli 1200	600- 1200	alle 600	yli 1200	600- 1200	alle 600	
	1	2	3	4	5	6	
Enintään 2-kerroksinen rakennus yleensä	R 120 *	R 90 *	R 60 *	R 30	R 30	R 30	-
- jos rakennuksen eristeet eivät ole vähintään luokkaa A2-s1, d0	R 120	R 90	R 60	R 30	R 30	R 30	-
- hoitolaitokset, majoitustilat, kellarit	R 120	R 90	R 60	R 30	R 30	R 30	-
3–8-kerroksinen rakennus yleensä	R 180	R 120	R 60	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.
3–8-kerroksinen asuin- tai työpaikkarakennus							
- kerrokset	R 180	R 120	R 60	R 180 *	R 120 *	R 60 *	ei mahd.
- kellarikerrokset	R 180	R 120	R 60	R 180	R 120	R 60	ei mahd.
Yli 8-kerroksinen rakennus	R 240	R 180	R 120	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.
Ylimmän maanalaisen kellarikerroksen alapuolella sijaitsevat kellarikerrokset	R 240	R 180	R 120	R 240	R 180	R 120	R 60
Yläpohjan rakenteiden vaatimukset enintään 2-kerroksisessa rakennuksessa, jossa ei ullakkoa, mikäli yläpohjan eristeet ovat vähintään A2-s1, d0-luokkaa, tai mikäli yläpohjan eristeet on suojattu syttymiseltä, hiiltymiseltä tai muulta vaurioitumiselta:							
- P1-luokan rakennuksissa K ₂ 60-luokan suojaverhous tai EI 60-luokan rakenne ja							
- P2-luokan rakennuksissa K ₂ 30-luokan suojaverhous tai EI 30-luokan rakenne.							
Läpiviennit ja muut asennukset tulee toteuttaa siten, että eristeiden suojaus ei niiden johdosta heikkene.							
- rakenteet, jotka ovat rakennuksen kantavan rungon tai jäykisteiden olennainen osa ¹⁾	R 60	R 60	R 60	R 30	R 30	R 30	-
- rakenteet, jotka eivät ole rakennuksen kantavan rungon tai jäykisteiden olennainen osa ¹⁾	R 15	R 15	R 15	R 15	R 15	R 15	-
Ullakon tai ontelon vesikattorakenteet, jotka eivät ole rakennuksen rungon olennaisia kantavia tai palossa runkoa jäykistäviä rakenteita	-	-	-	-	-	-	-

Taulukon huomautukset:

Parvekkeiden palonkestävyysvaatimus on puolet kerroksen kantavien rakenteiden vaatimuksesta.

Tuotanto- ja varastorakennuksessa sallitaan lievennyksiä Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeiden E2 mukaisesti.

¹⁾ Ohje: Taulukossa 6.2.1 tarkoitettuja kantavan rungon tai jäykisteiden olennaisia osia ovat pääkannattajat, runkoa jäykistävät sekundäärikannattajat ja yläpohjan jäykisteet ja muut sellaiset yksittäiset rakenteet, jotka toimivat yläpohjan stabiliteetin säilyttämiseksi, sekä näiden väliset liitokset.

Taulukon merkinnät:

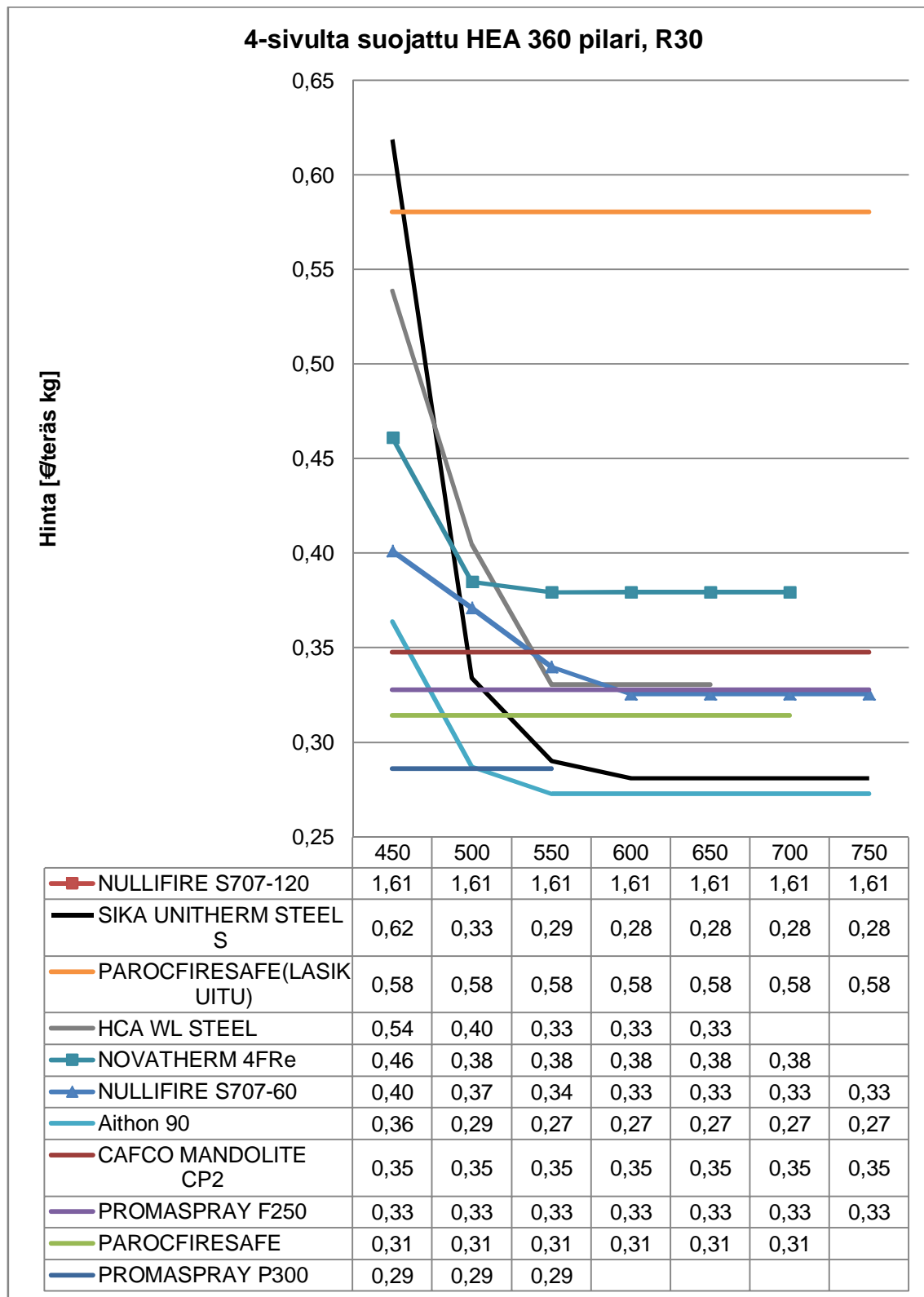
- * = rakennuksen eristeiden ja muiden täytteiden tulee olla vähintään A2-s1, d0-luokan tarvikkeista.
- = kantavat rakenteet on tehtävä vähintään luokan A2-s1, d0 tarvikkeista
- = ei luokkavaatimusta (katso kohta 6.1.2)
- ei mahd. = ei mahdollinen

Yhteenveto kustannusvertailussa olevista palosuojaamateriaaleista

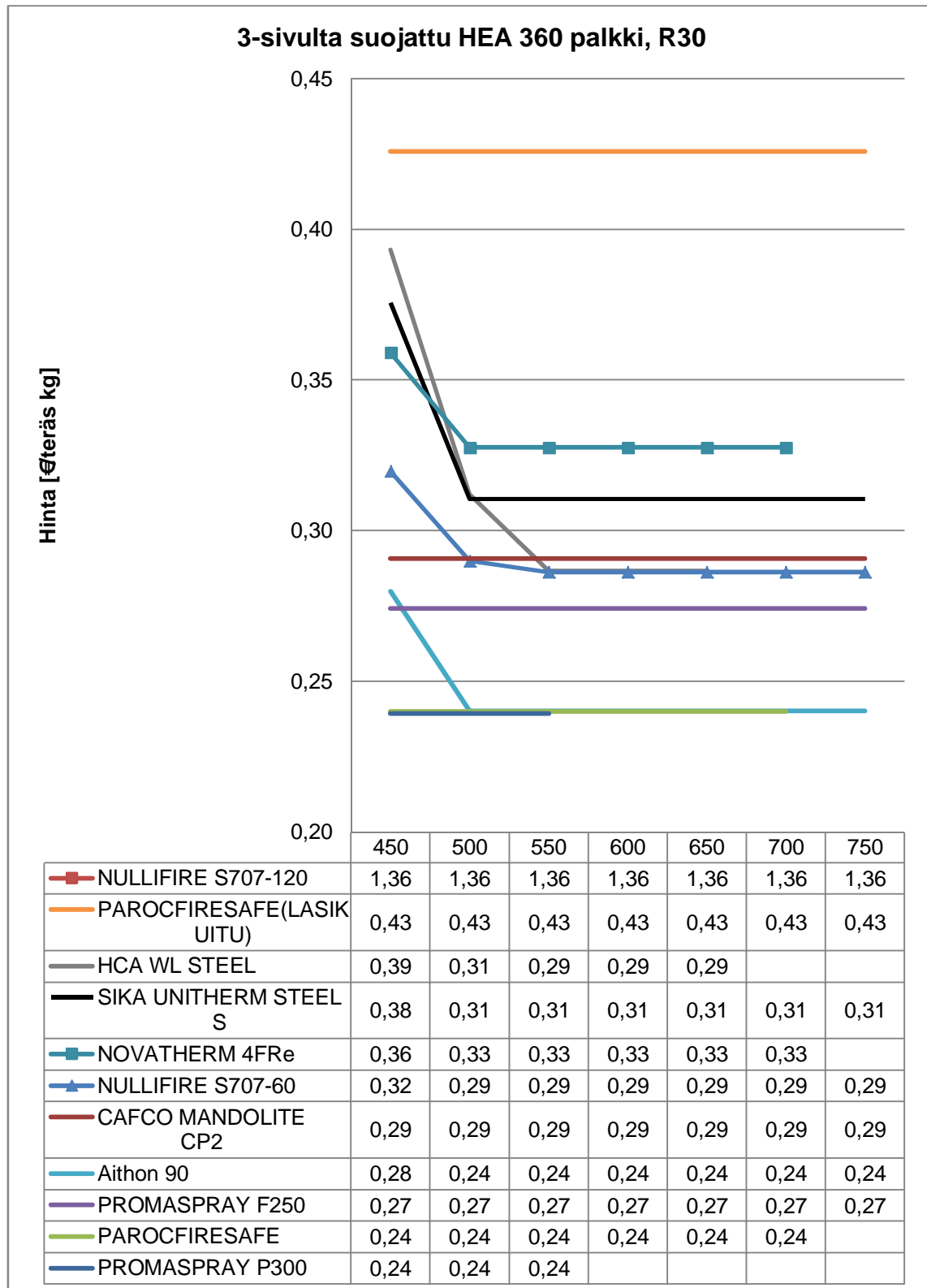
Tuotteen nimi	Maksimi palonkesto aika [min]	Huomioita	Hinta alv 0% [€/kg]	Palo-omi- naisuudet	Elinkaari [a]	Käyttö- luokka	Minimi asennus- lämpö	Kuivumis- aika [h]	Kerros- pak- suus [mm]	Kriittinen lämpötila	Profiilit	Pinnan esi- käsitely	Pohja- maalin tarve
Sika Unitherm Steel S	120	Liuotinpohjainen maali	9,5-10	E	10	Y	5°C	4	0,55	350-750°C	I- ja ympyrä- putkiprofiilit	SA2,5	Kyllä
Nullfire S707-120	180	Vesipohjainen maali	13,42	B-s2, d0.	10	Z ₂	5°C	7	0,7	350-750°C	I- ja putkiprofiilit	SA2,5	Kyllä
NOVATHERM 4Fre	90	Vesipohjainen maali	10,4	E	10	Z ₂	10°C	8	0,55	350-750°C	I- ja putkiprofiilit	SA2,5	Kyllä
Nullfire S707-60	120	Vesipohjainen maali	13,42	B-s2, d0.	10	Z ₂	5°C	7	0,7	350-750°C	I- ja putkiprofiilit	SA2,5	Kyllä
HCA WL STEEL	240	Vesipohjainen maali	15	B-s2, d0.	10	Z ₂	5°C	8	0,7	350-650°C	I-, U-, L-, T- profiilit	SA2,5	Kyllä
Aithon A90	120	Vesipohjainen maali	7	F	10	Y	5°C	4	0,7	350-600°C	I-, U-, L-, T- ja putkiprofiilit	SA2,5	Kyllä
PROMASPRAY F250	240	Mineraalikuittiruiskute	2,1	A1	25	Y	5°C	24	80	350-750°C	I- ja putkiprofiilit	puhdas	Ei
PROMASPRAY P300	240	Vermikuliittiruiskute	2,05	A1	25	Z ₂	4°C	3-6	25	350-550°C	I-profiilit	puhdas	Ei
Cafo MANDOLITE® CP2	240	Vermikuliittiruiskute	2,4	A1	25	Y	4°C	2-6	20	350-750°C	I- ja putkiprofiilit	puhdas	Ei
PAROC FireSAFE System	180	Kivivilla	13,55-28	A1	25	Y	-	-	50	350-700°C	I- ja putkiprofiilit	-	Ei

Kustannusvertailu rakenteen paloluokan mukaan

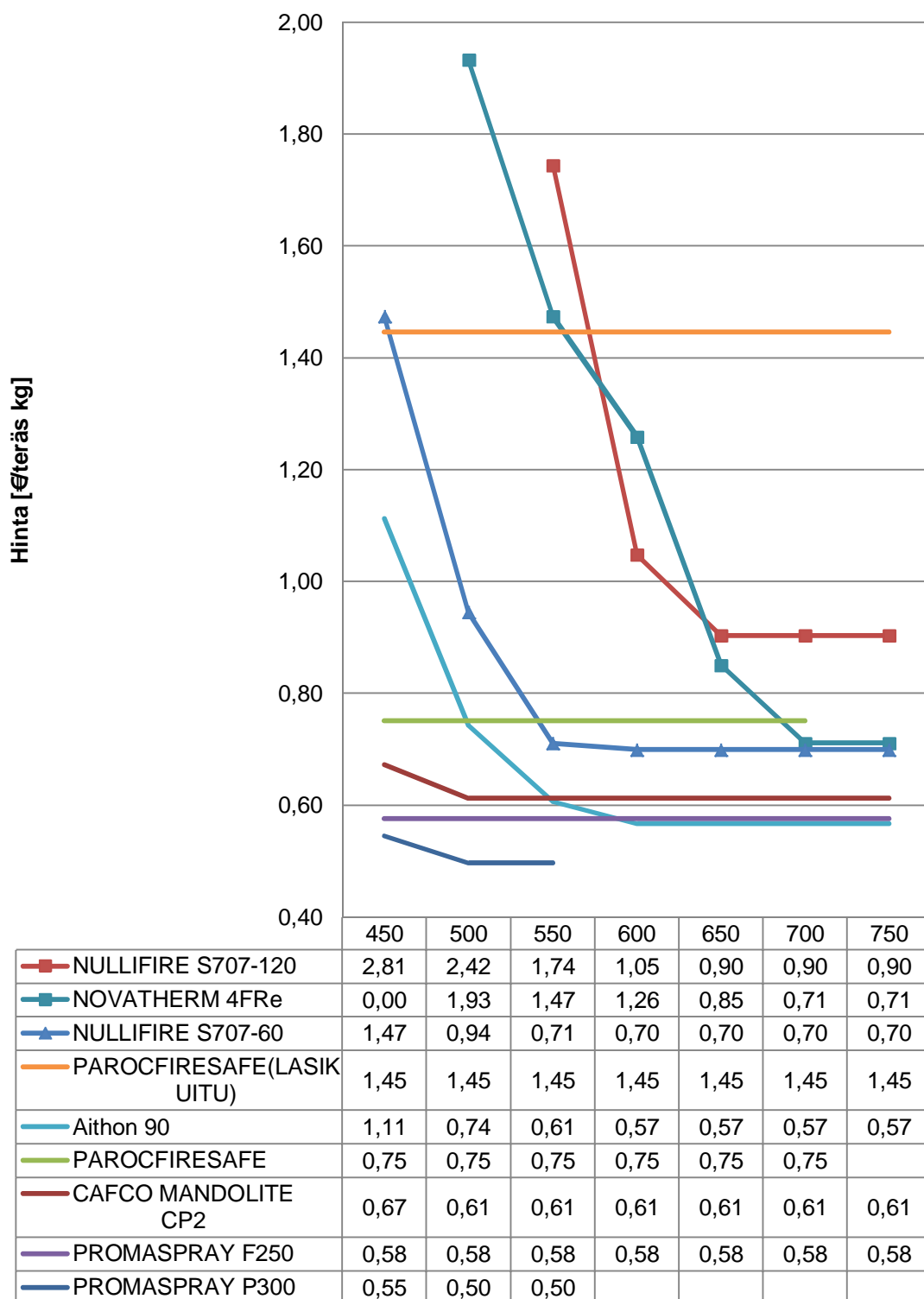
Rakenteen paloluokka R30



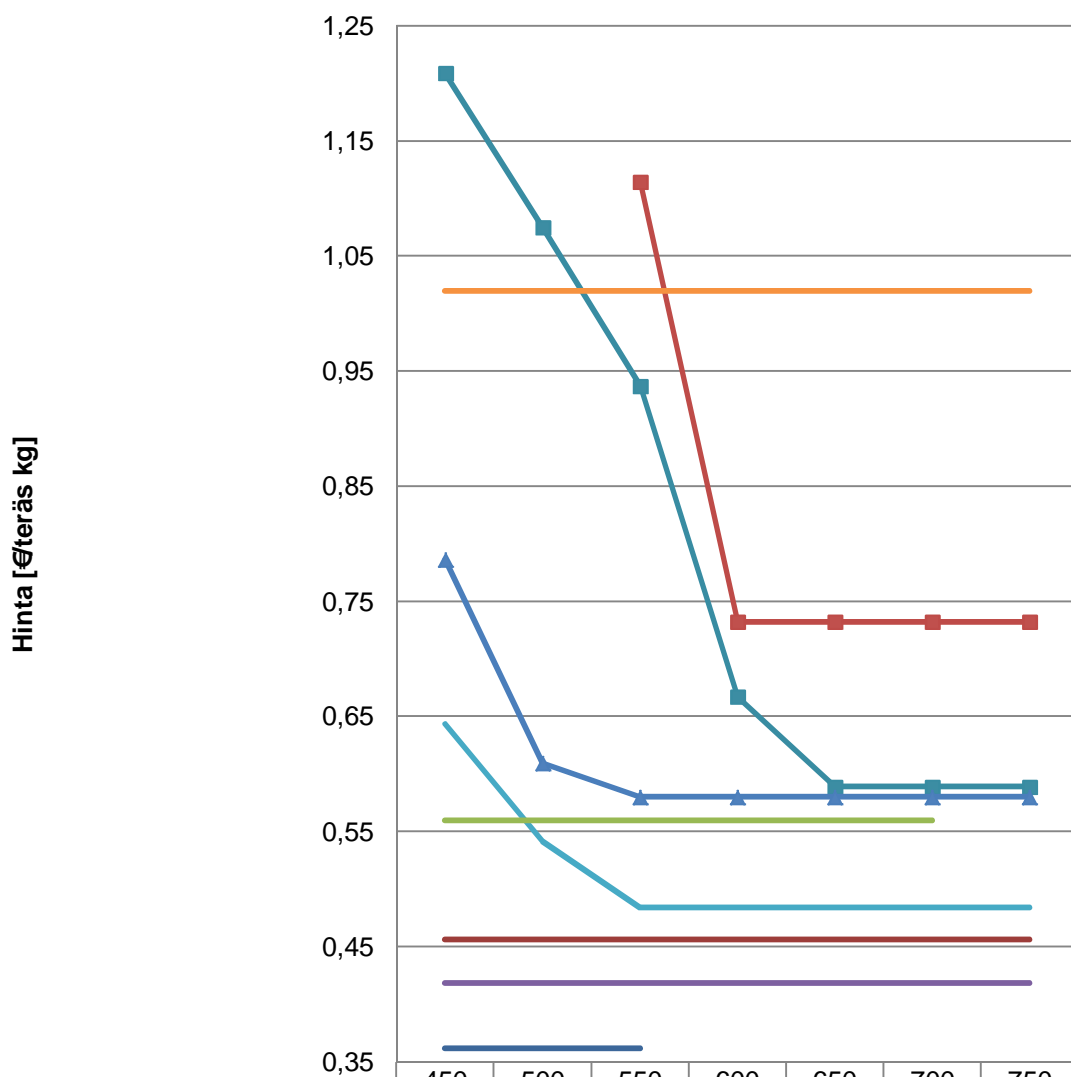
Rakenteen paloluokka R30



Rakenteen paloluokka R30

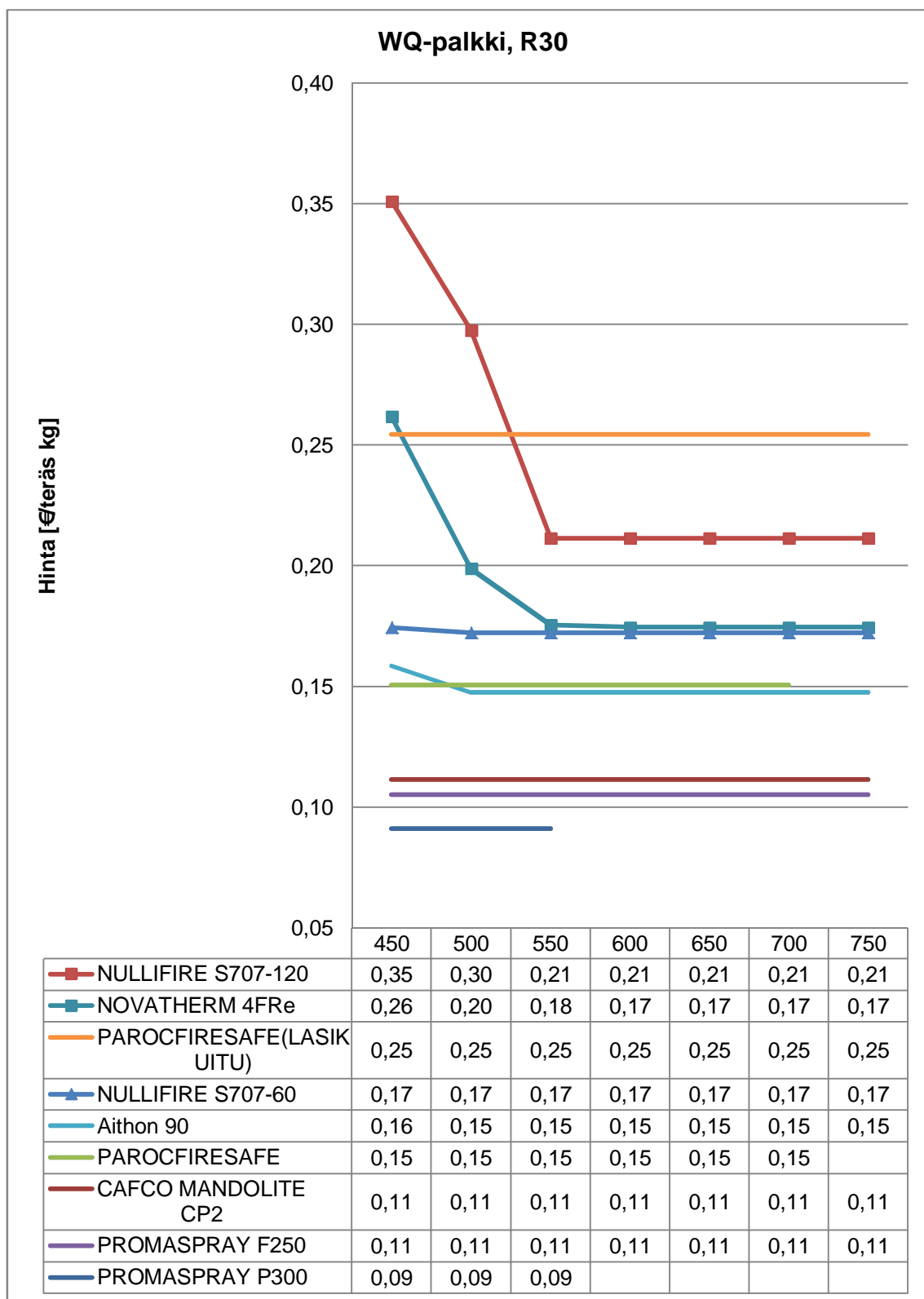
4-sivulta suojattu 200x200x5 pilari, R30

Rakenteen paloluokka R30

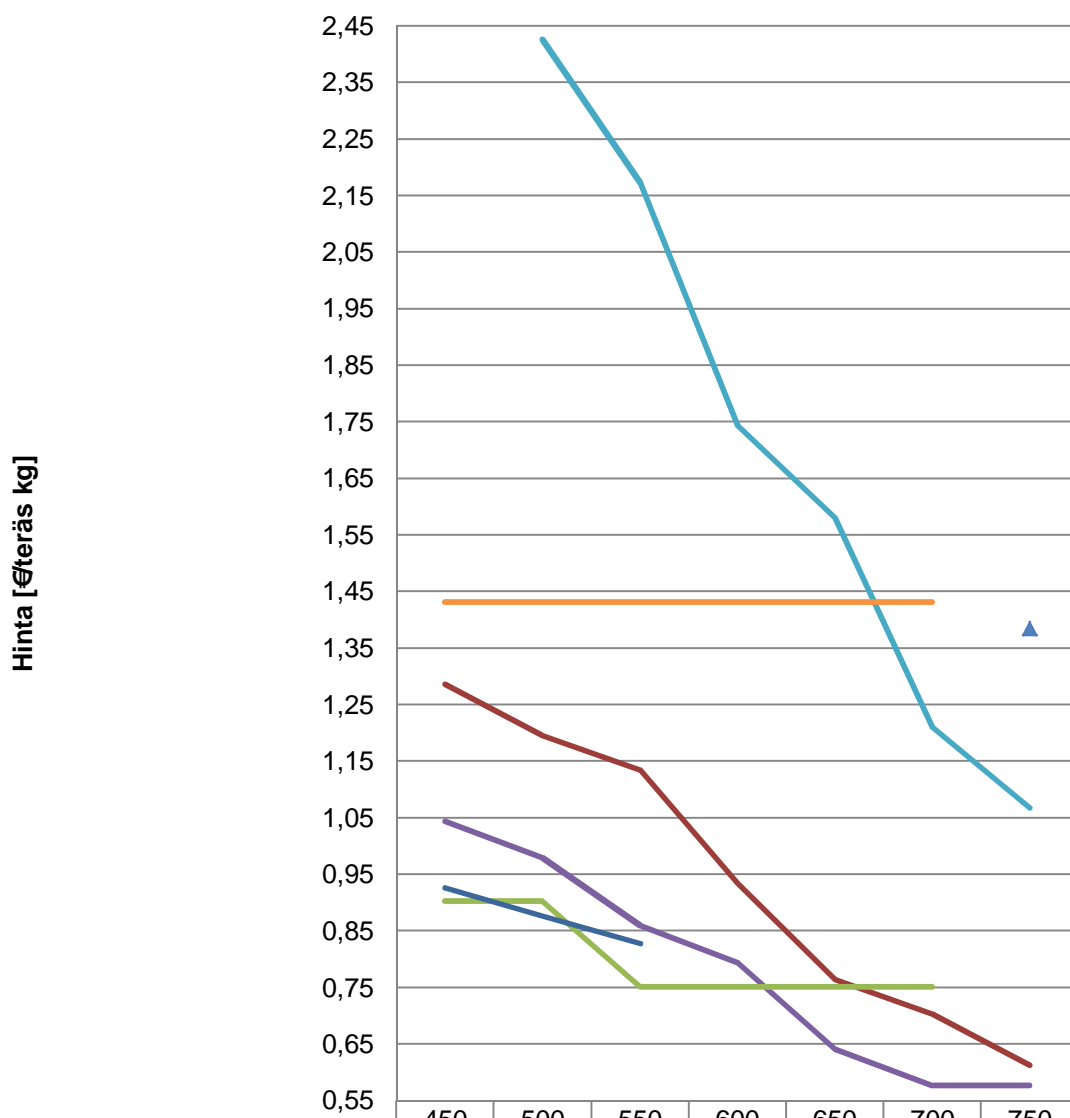
3-sivulta suojattu 200x200x5 palkki, R30

	450	500	550	600	650	700	750
■ NULLIFIRE S707-120	1,82	1,41	1,11	0,73	0,73	0,73	0,73
■ NOVATHERM 4FRe	1,21	1,08	0,94	0,67	0,59	0,59	0,59
— PAROCFIRESAFE(LASIKUITU)	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
▲ NULLIFIRE S707-60	0,79	0,61	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
— Aithon 90	0,64	0,54	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
— PAROCFIRESAFE	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	
— CAFCO MANDOLITE CP2	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
— PROMASPRAY F250	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
— PROMASPRAY P300	0,36	0,36	0,36				

Rakenteen paloluokka R30

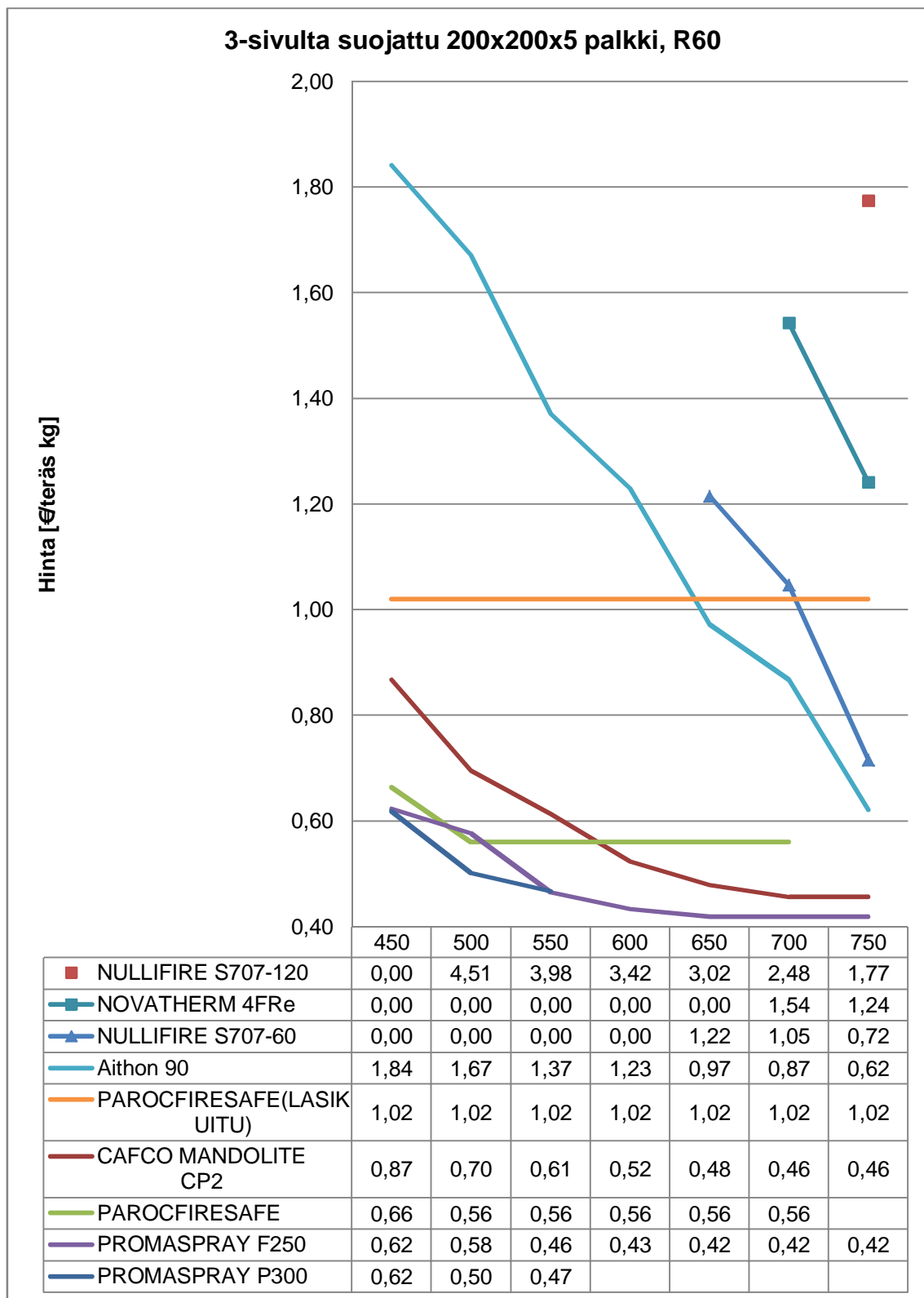


Rakenteen paloluokka R60

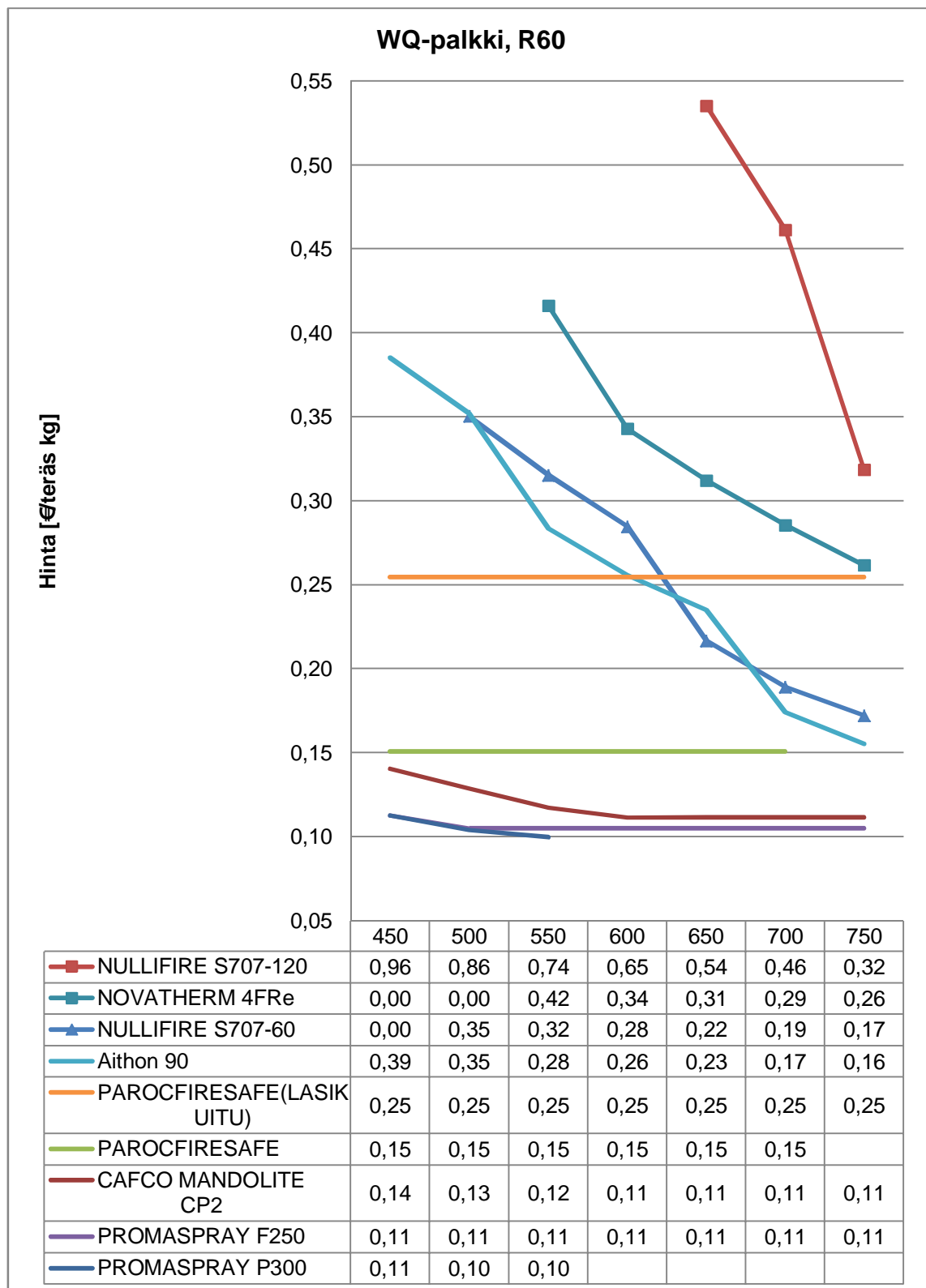
4-sivulta suojattu 200x200x5 pilari, R60

	450	500	550	600	650	700	750
NULLIFIRE S707-120	0,00	0,00	0,00	5,88	5,05	4,23	3,10
Aithon 90	0,00	2,43	2,17	1,74	1,58	1,21	1,07
NULLIFIRE S707-60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38
PAROCFIRESAFE(LASIKUITU)	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	
CAFCO MANDOLITE CP2	1,29	1,20	1,13	0,93	0,76	0,70	0,61
PROMASPRAY F250	1,04	0,98	0,86	0,79	0,64	0,58	0,58
PAROCFIRESAFE	0,90	0,90	0,75	0,75	0,75	0,75	
PROMASPRAY P300	0,93	0,88	0,83				

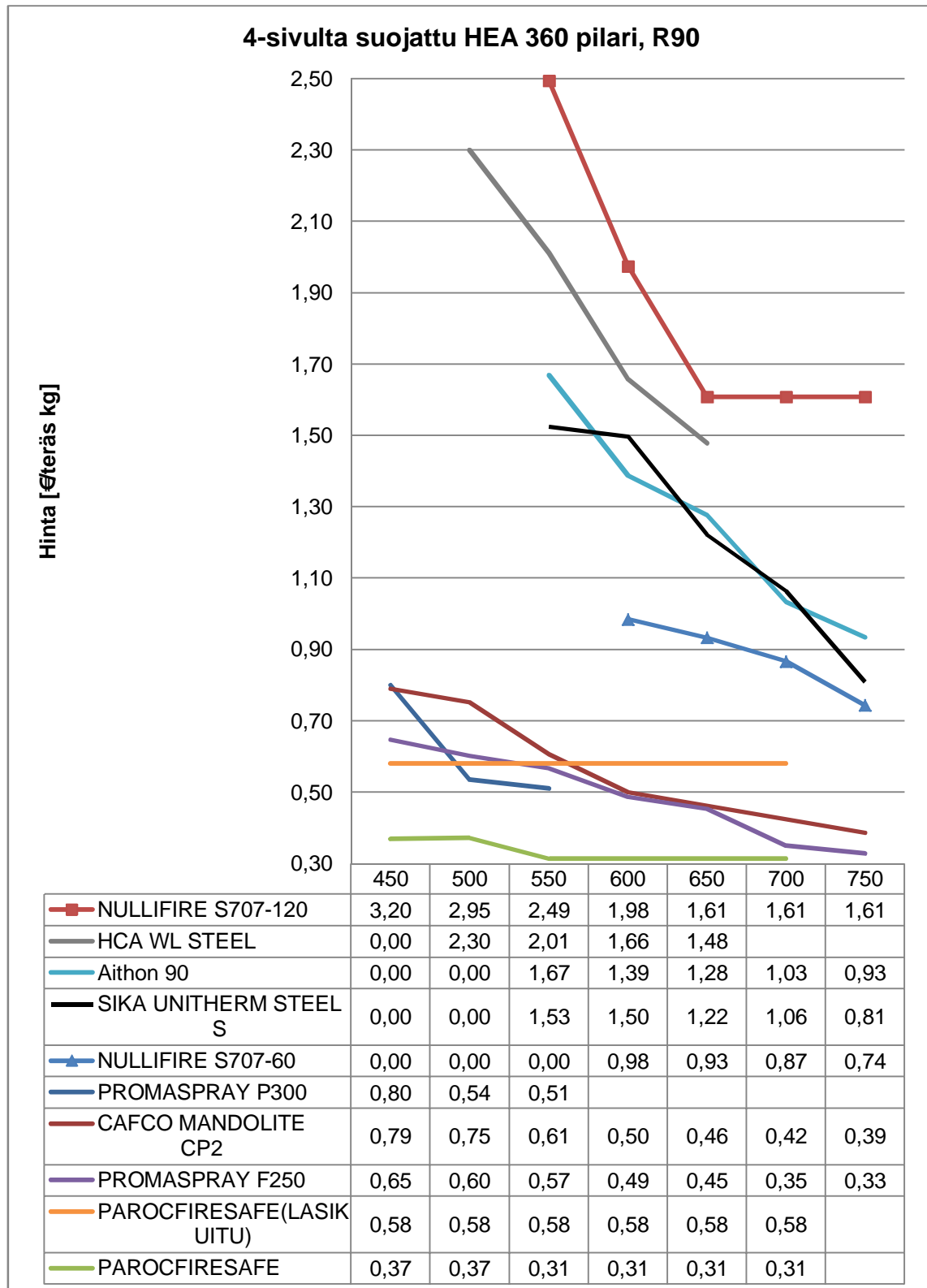
Rakenteen paloluokka R60



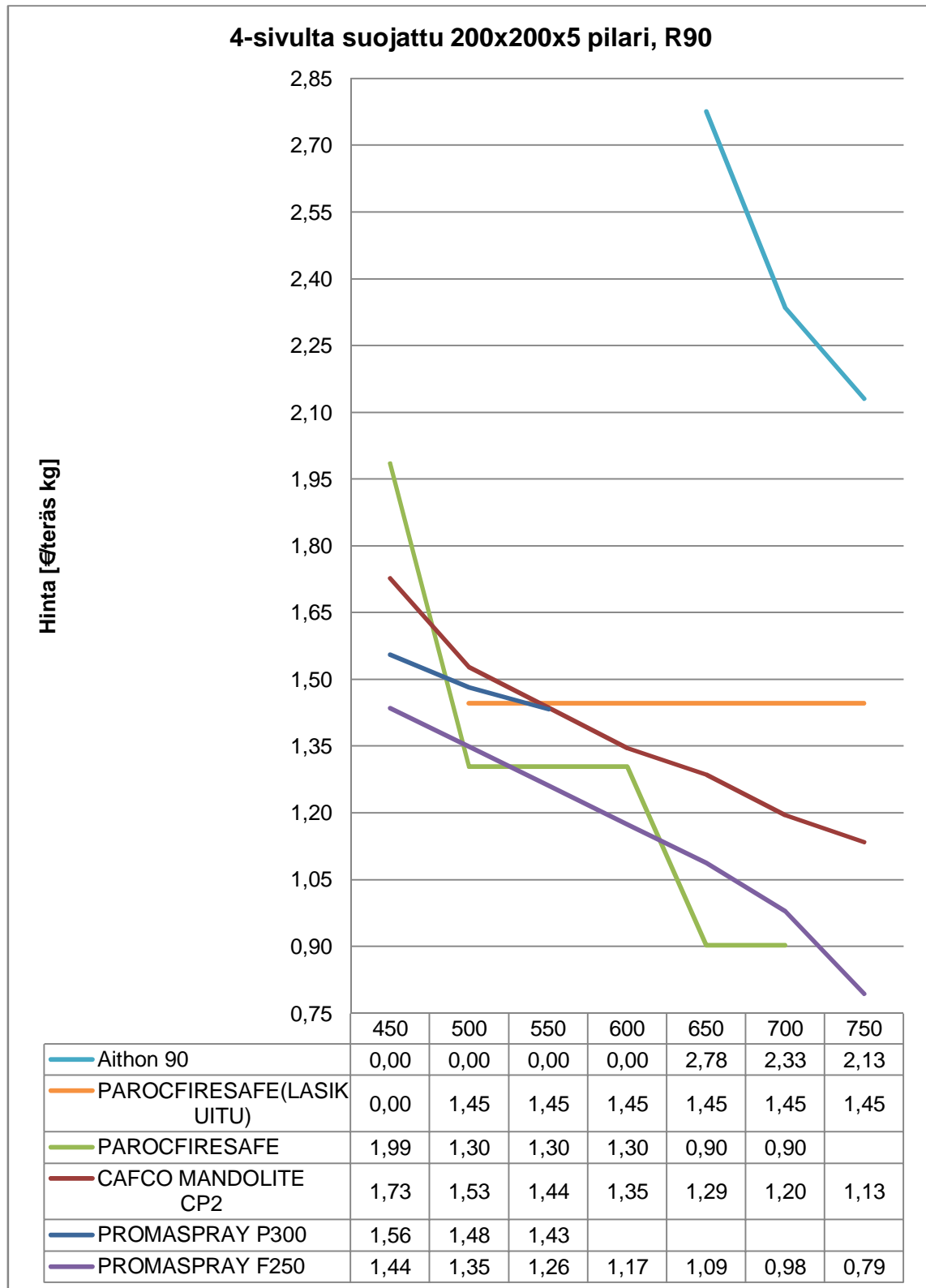
Rakenteen paloluokka R60



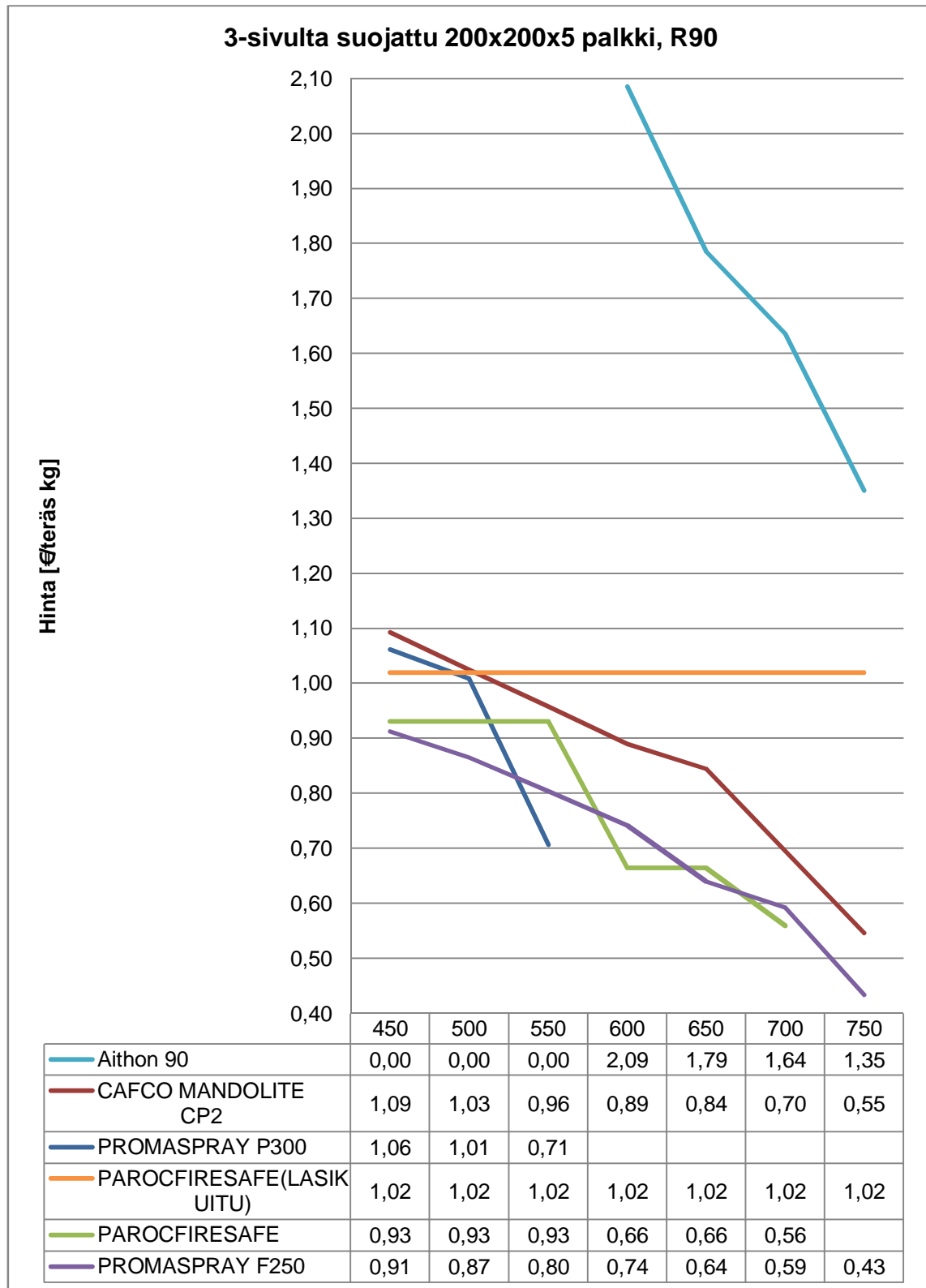
Rakenteen paloluokka R90



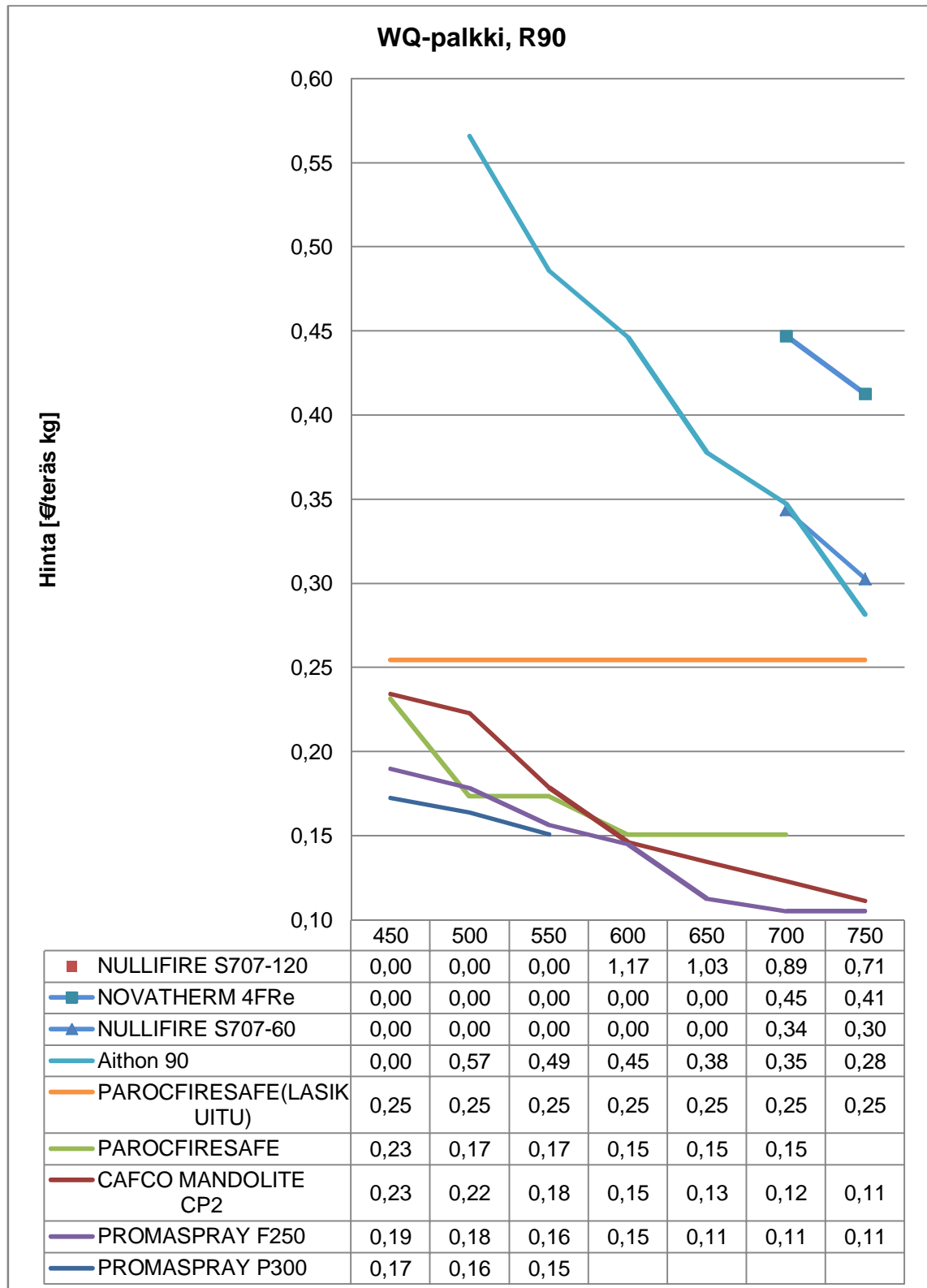
Rakenteen paloluokka R90



Rakenteen paloluokka R90

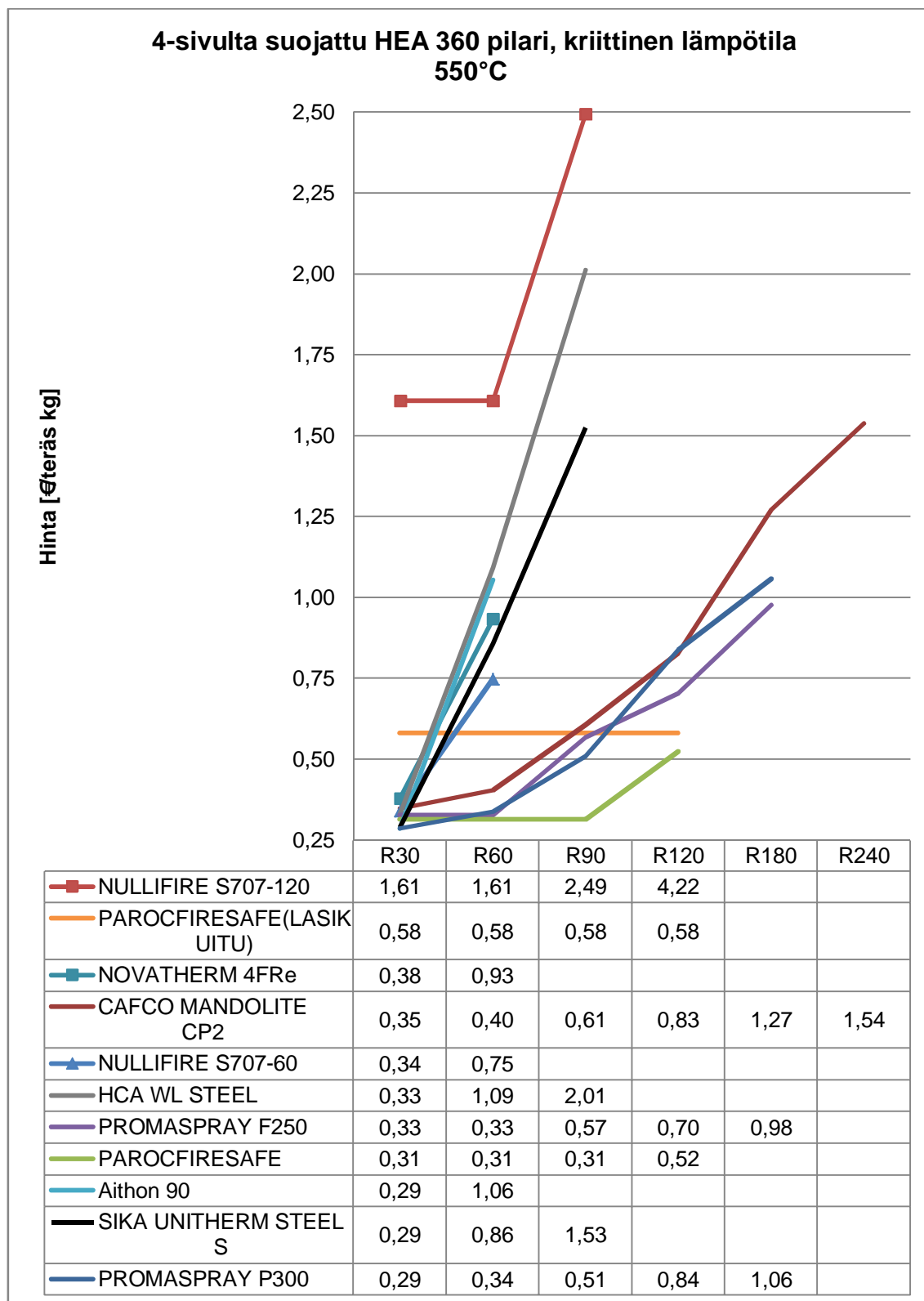


Rakenteen paloluokka R90

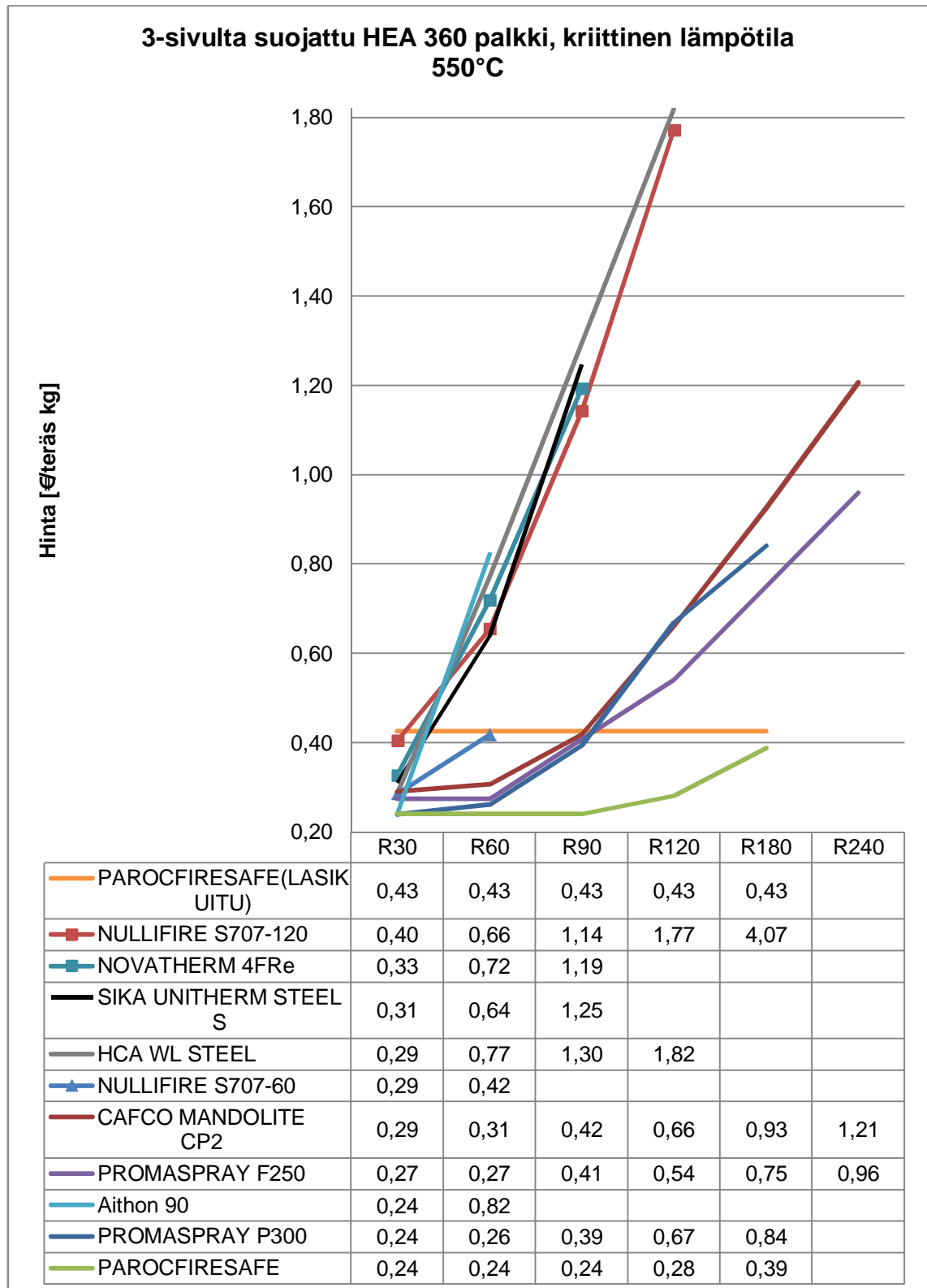


Kustannusvertailu rakenteen kriittisen lämpötilan mukaan

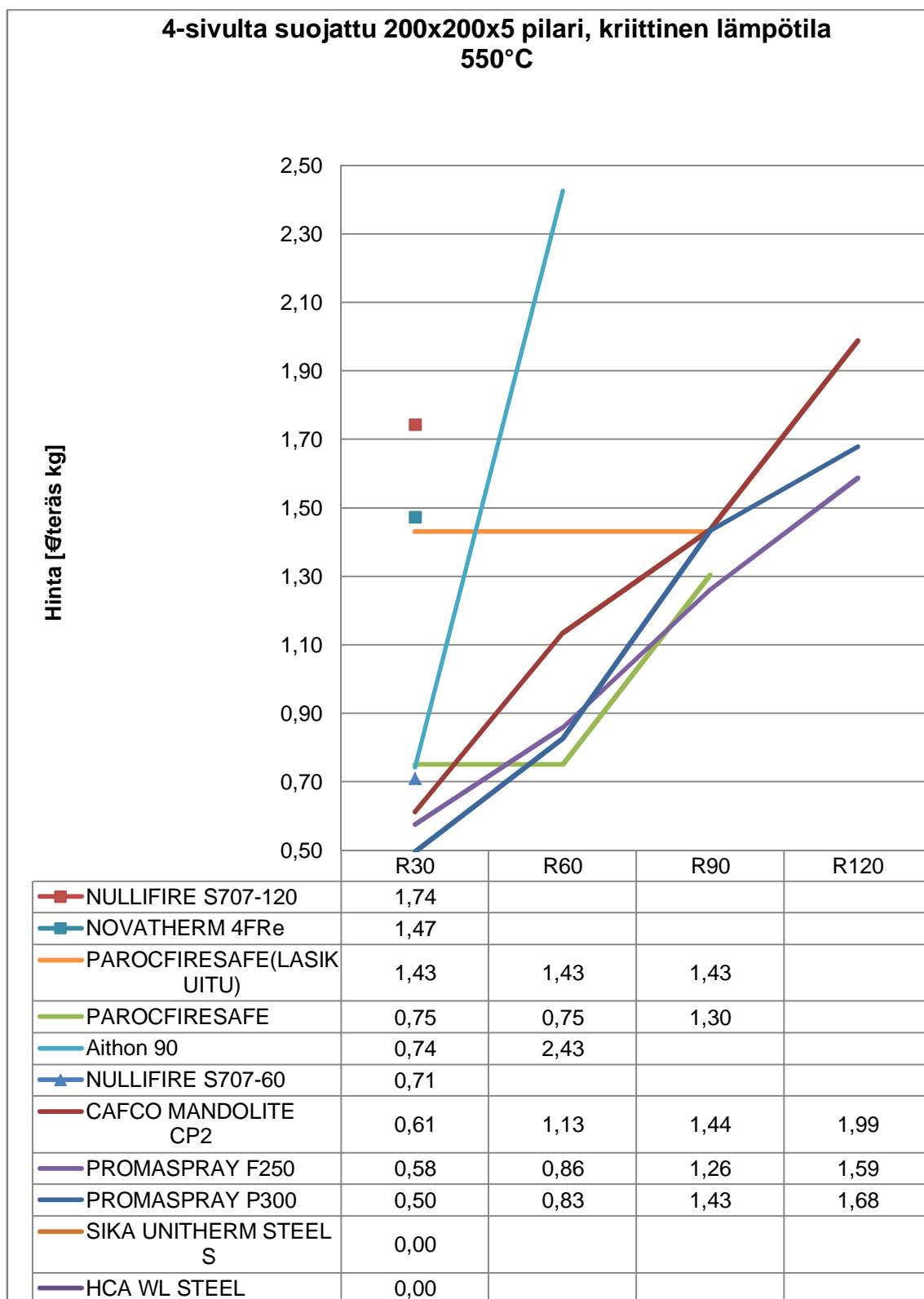
Kriittinen lämpötilan 550°C



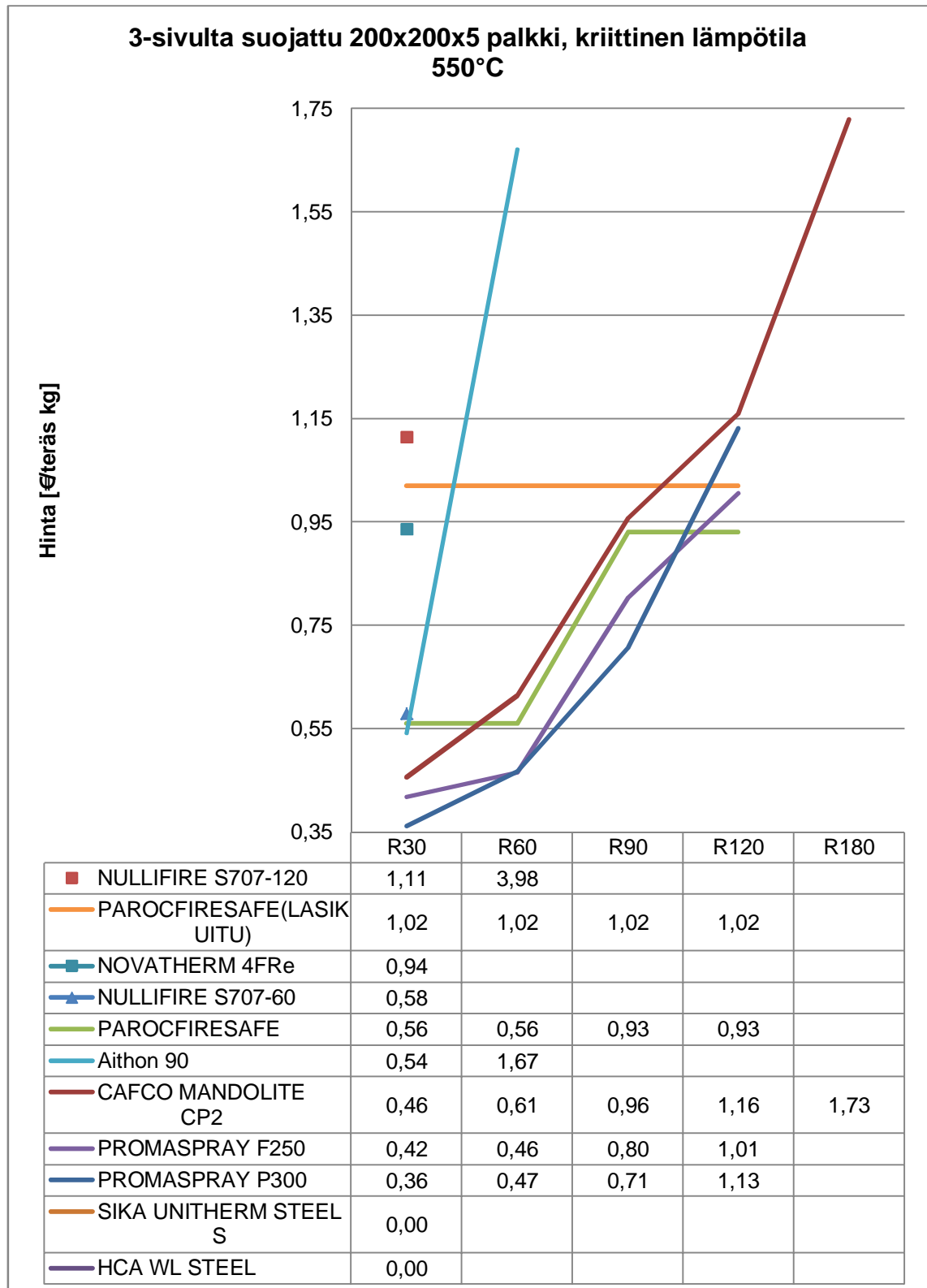
Kriittinen lämpötilan 550°C



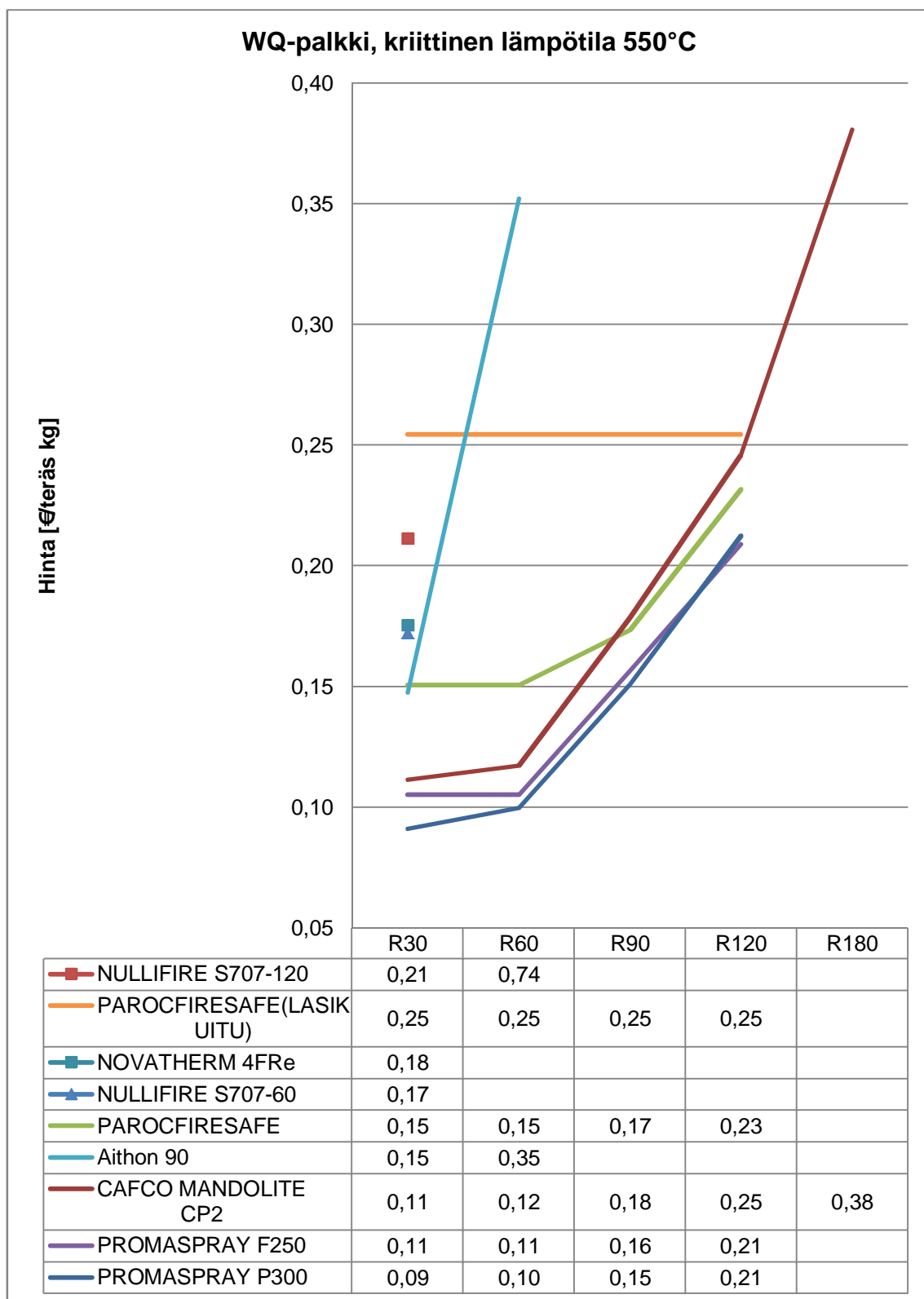
Kriittinen lämpötilan 550°C



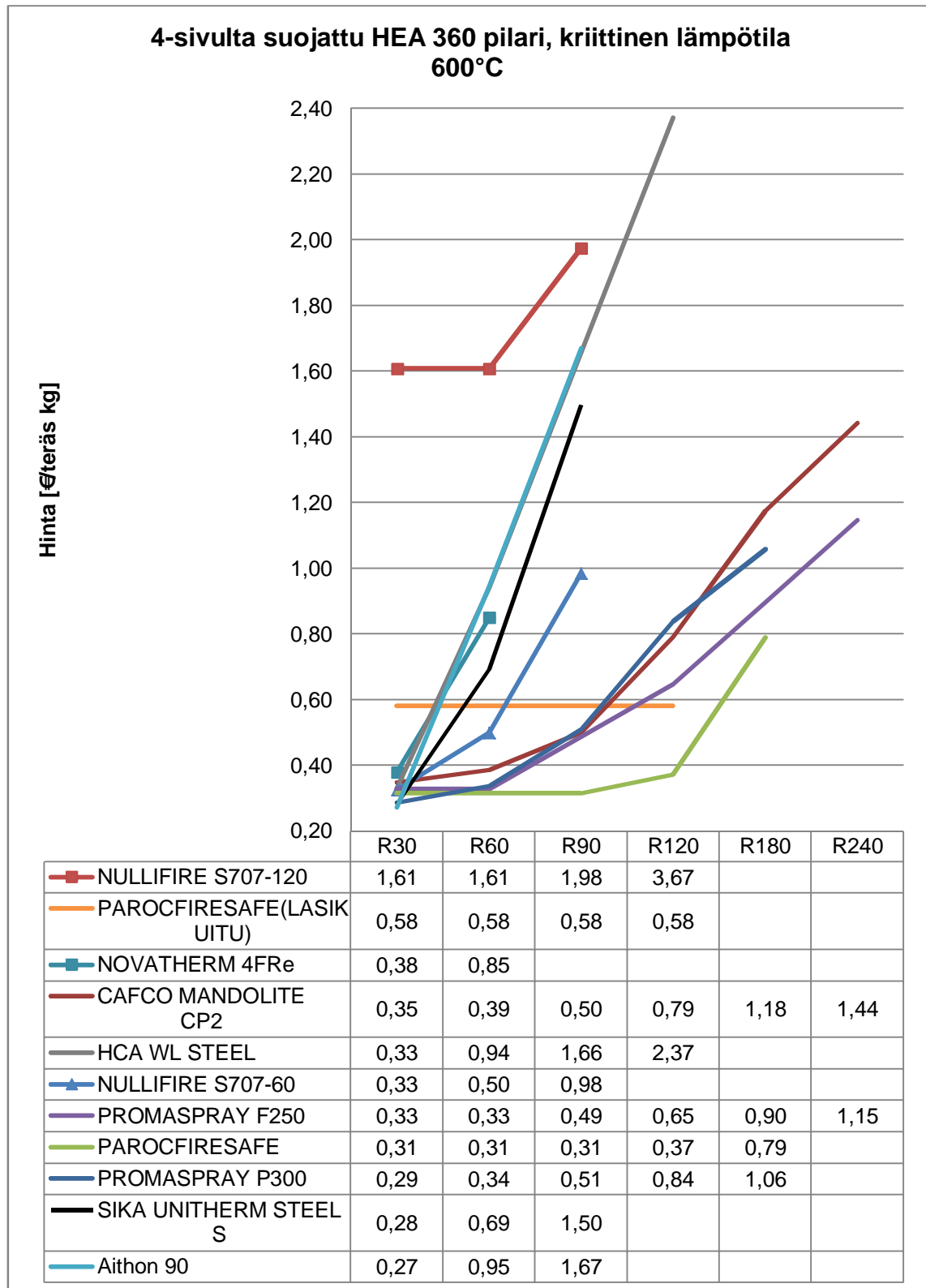
Kriittinen lämpötilan 550°C



Kriittinen lämpötila 550°C

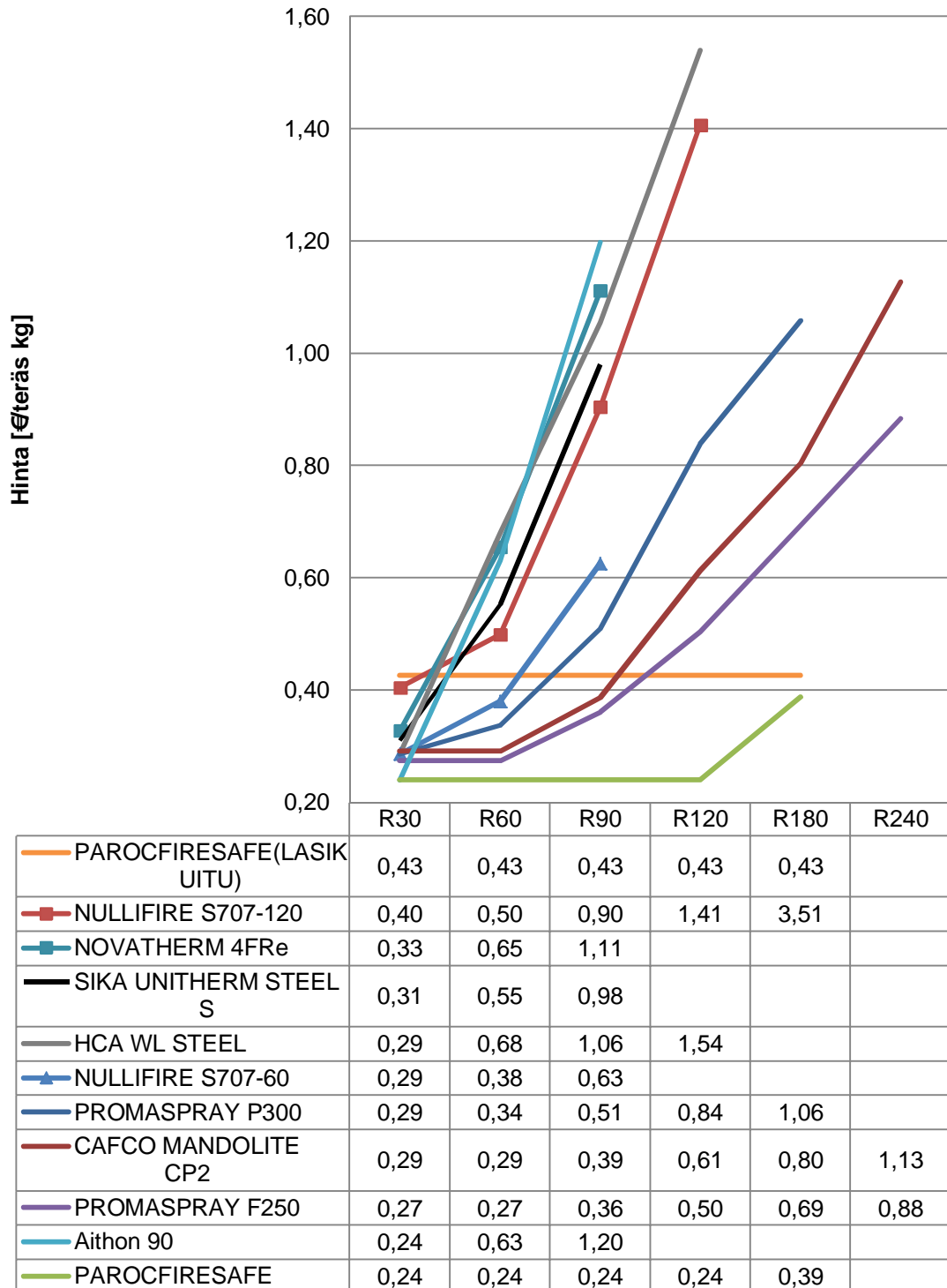


Kriittinen lämpötilan 600°C

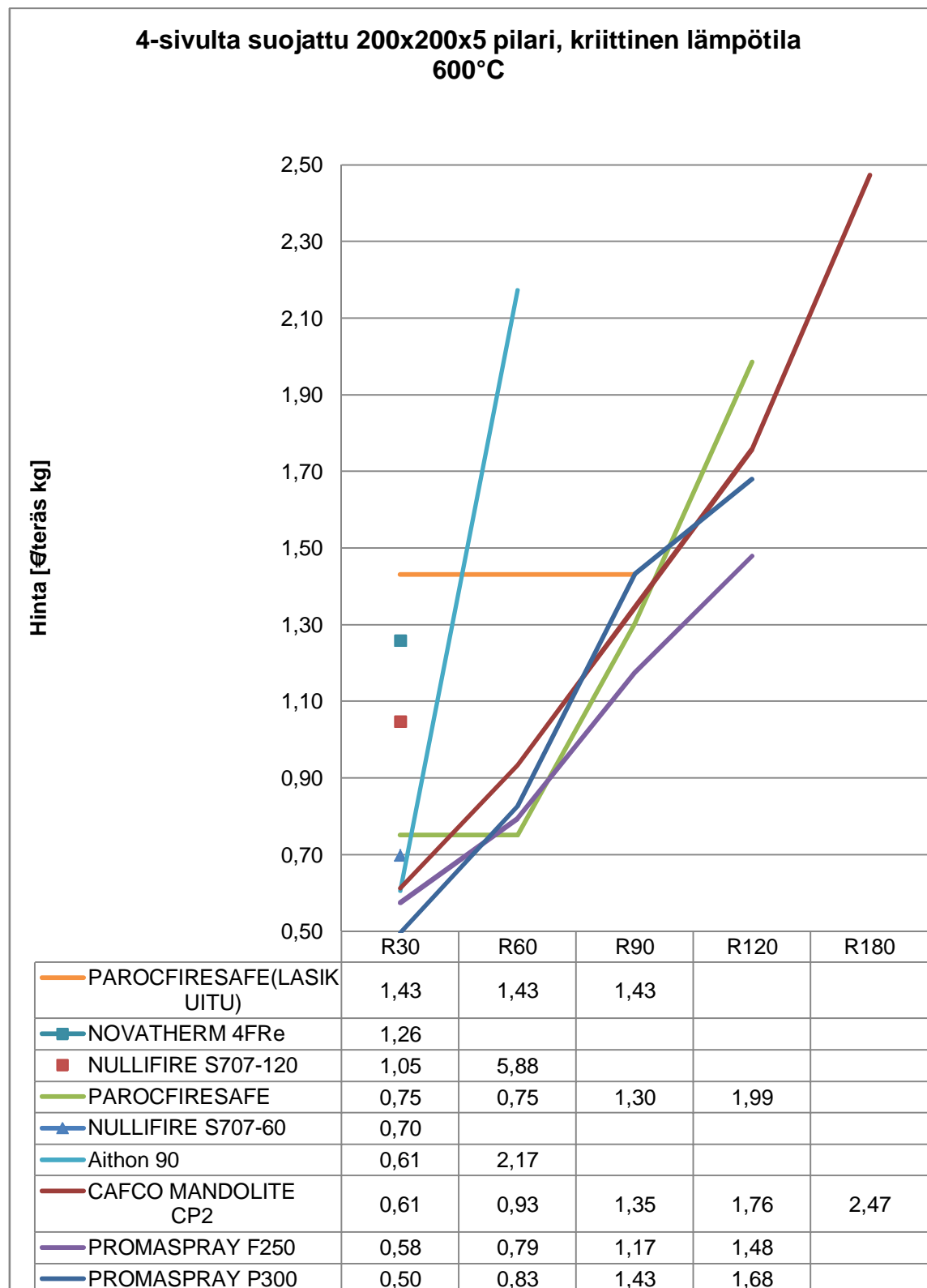


Kriittinen lämpötilan 600°C

**3-sivulta suojattu HEA 360 palkki, kriittinen lämpötila
600°C**

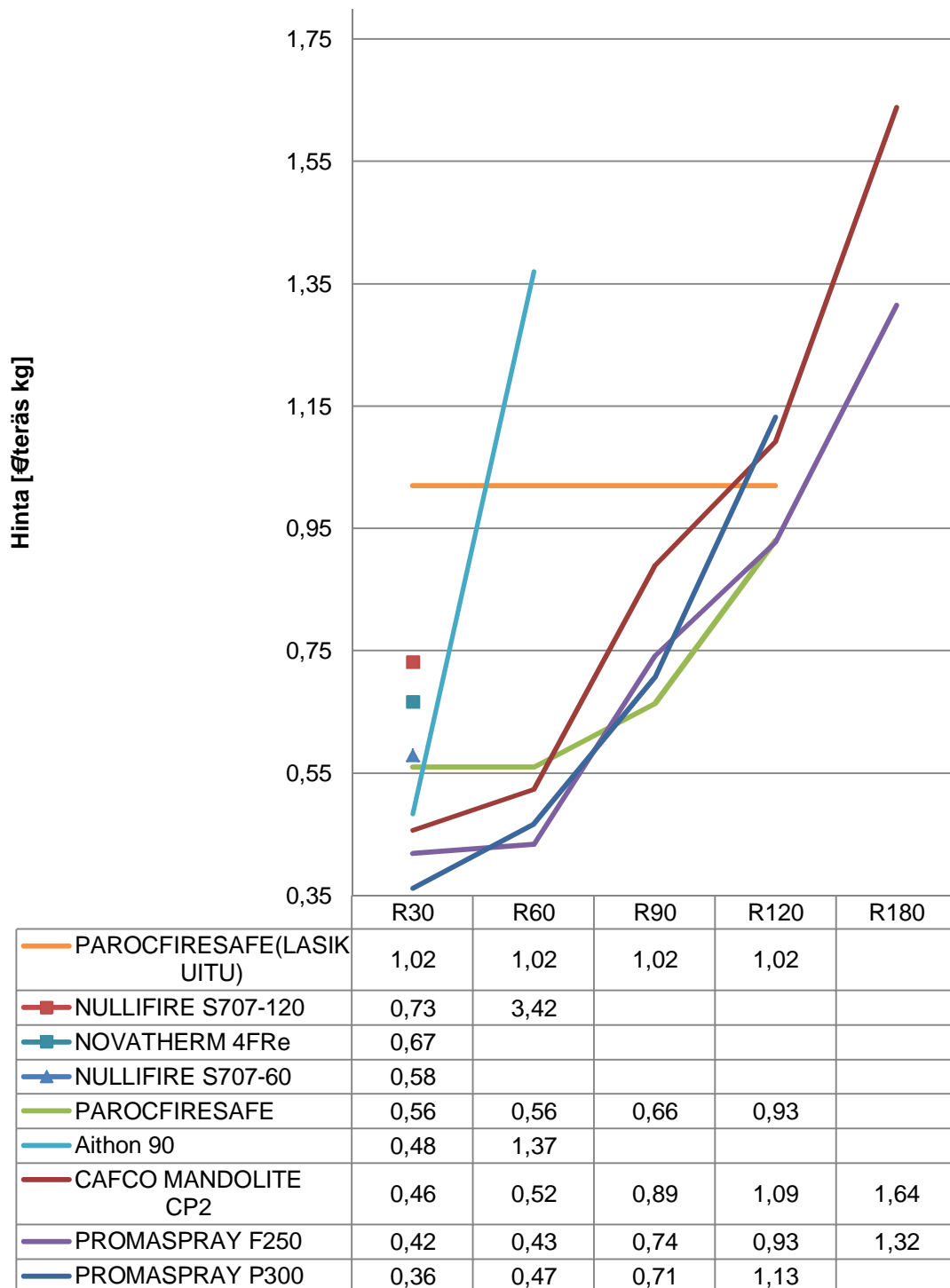


Kriittinen lämpötilan 600°C



Kriittinen lämpötilan 600°C

3-sivulta suojattu 200x200x5 palkki, kriittinen lämpötila 600°C



Kriittinen lämpötila 600°C

